САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2025:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS – 2025:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

Материалы
25-й Международной научной конференции

Республика Беларусь, Минск
22–23 мая 2025 г.

В двух частях

Часть 2

САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2025

2

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ А. Д. САХАРОВА
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2025:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS – 2025:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

Материалы
25-й Международной научной конференции

Республика Беларусь, Минск
22–23 мая 2025 г.

В двух частях

Часть 2

Минск
БГУ
2025

УДК 502/504(06)
ББК 20.1я431
С22

Редакционная коллегия:
доктор медицинских наук, профессор *А. Н. Батян* (гл. ред.);
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *С. Е. Головатый*;
кандидат филологических наук, доцент *Н. Н. Довгулевич*;
доктор медицинских наук, профессор *М. М. Зафранская*;
кандидат филологических наук, доцент *М. М. Круталевич*;
кандидат технических наук, доцент *В. А. Пашинский*;
кандидат экономических наук, доцент *С. И. Пупликов*;
старший преподаватель *И. В. Пухтеева*;
доктор физико-математических наук, доцент *Н. А. Савастенко*;
кандидат технических наук, доцент *И. А. Тавгень*;
доктор химических наук, профессор *С. Н. Шахаб*

Рецензенты:
доктор биологических наук, профессор *О. И. Родькин*;
кандидат технических наук, доцент *М. Г. Герменчук*

Издано при поддержке Белорусского республиканского фонда
фундаментальных исследований и Министерства природных ресурсов
и охраны окружающей среды Республики Беларусь

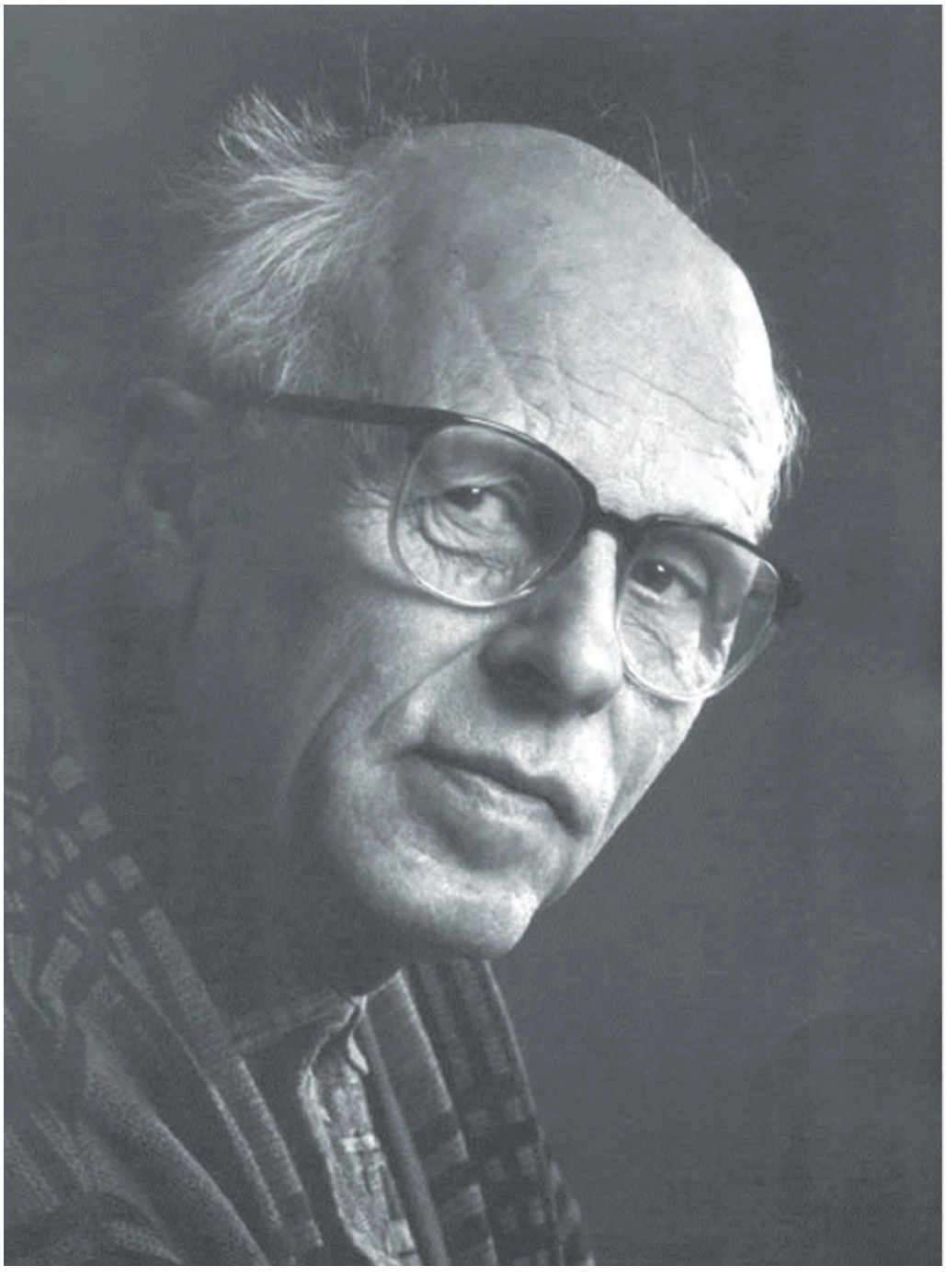
Сахаровские чтения – 2025: экологические проблемы XXI века = Sakharov
С22 readings – 2025: environmental problems of the XXI century : материалы 25-й Междунар. науч. конф., 22–23 мая 2025 г., Респ. Беларусь, Минск. В 2 ч. Ч. 2 / Белорус. гос. ун-т ; Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Белорус. гос. ун-та ; редкол.: А. Н. Батян (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2025. – 463 с.
ISBN 978-985-881-782-4.

Вторая часть материалов 25-й конференции включает доклады по вопросам энергоэффективных технологий и энергетического менеджмента, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, философских и социально-экологических проблем современности, а также подготовки специалистов экологического профиля к профессиональной и межкультурной коммуникации. Особое внимание уделено экологическому мониторингу и менеджменту.

УДК 502/504(06)
ББК 20.1я431

ISBN 978-985-881-782-4 (ч. 2)
ISBN 978-985-881-780-0

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2025
© Оформление. БГУ, 2025



АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ

(21 мая 1921–14 декабря 1989 г.)

Уважаемые читатели!

Представляем материалы докладов участников 25-ой Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2025 года: экологические проблемы XXI века». Каждый год учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета в 3-й декаде мая проводит эту конференцию, которая является национальным и интернациональным экологическим форумом для обсуждения злободневных проблем не только Республики Беларусь, но и стран как ближнего, так и дальнего зарубежья. Для противодействия глобальным экологическим угрозам необходима кооперация всех ученых и экспертов. В конференции 2025 года приняли участие, кроме отечественных авторов, докладчики из России, Казахстана, Сербии, Узбекистана, Таджикистана, Турции, Китая.

Как и в прошлые годы, программа конференции включает обширный спектр актуальных экологических проблем в областях радиационной биологии и радиоэкологии, медицинской экологии и эпидемиологии, медицинской физики, экологической химии и биохимии, биофизики и молекулярная биологии, реабилитации экосистем и экологического мониторинга, промышленной и аграрной экологии, мониторинга, управления отходами, ядерных технологий и радиационной безопасности и защиты, энергоэффективных технологий и энергетического менеджмента, информационных систем и технологий в оценке и управлении качеством окружающей среды, философских и социально-экологических проблем современности, подготовки специалистов экологического профиля к профессиональной и межкультурной коммуникации.

Организаторы конференции выражают признательность Белорусскому государственному университету, Министерству образования Республики Беларусь, Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Департаменту по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, унитарному предприятию «Кока-Кола Бевриджиз Белоруссия», ОАО «Белагропромбанк» и др. за моральную и материальную поддержку, без которой невозможно проведение Международной научной конференции «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века».

Хочу поблагодарить всех, кто заинтересован в решении проблем экологической безопасности как важнейшего фактора, определяющего устойчивое развитие человеческого сообщества в XXI веке и приглашаю участвовать в Международной научной конференции «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века».

Директор учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор биологических наук О. И. Родькин

СЕКЦИЯ 4

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ДИАГНОСТИКА ПАРАЗИТОЦЕНОЗОВ ОХОТНИЧЬИХ ВИДОВ ВОДОПЛАВАЮЩЕЙ ПТИЦЫ В БЕЛАРУСИ

А. В. Апанович[1)], Ю. Г. Лях[1)], К. А. Якимович[1)], К. А. Дайнеко[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, Yury_Liakh.61@mail.ru*

Понятие паразитоценоз человек определил биологическому процессу, при котором целое сообщество различных видов паразитов, обитают в каком-либо органе или во всем организме хозяина в целом. Не явились исключением и организмы охотничьих видов водоплавающих птиц, обитающих в Беларуси. Этих животных, в качестве своих хозяев избрал целый ряд, как эндопаразитов (паразиты, живущие в тканях или внутренних органах «хозяина»), так и эктопаразитов. Последние, обитают на поверхности тела и на наружных органах зверей и птиц. Это сообщество (паразитоценоз) дополняют патогенные: простейшие, бактерии, вирусы, которые также относятся к живым паразитическим существам.

Когда в организме присутствует, какой либо один из приведенных ранее паразитов, то животное испытывает конкретный прессинг на все системы жизнедеятельности. Присутствие в организме животного нескольких видов паразитов – не оставляют этому животному шансов на выживание.

Ключевые слова: паразитоценозы; охотничьи водоплавающие птицы; биологические ресурсы; экология; паразитологические исследования.

DIAGNOSTICS OF PARASITOCENOSIS OF HUNTING SPECIES OF WATERFOWL IN BELARUS

A. V. Apanovich[1)], Yu. G Liakh[1)], K. A. Yakimovich[1)], K. A. Dayneko[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus,Yury_Liakh.61@mail.ru*

The concept of parasitocenosis was defined by humans as a biological process in which a whole community of various parasite species lives in a specific organ or throughout the entire host organism. The organisms of game species of waterfowl living in Belarus are no exception. These animals serve as hosts for a number of both endoparasites (parasites living in the tissues or internal organs of the «host») and ectoparasites. The latter live on the surface of the body and on the external organs of animals and birds. This community (parasitocenosis) is supplemented by pathogens such as protozoa, bacteria, viruses, which also belong to living parasitic organisms.

When any one of the previously mentioned parasites is present in the body, the animal experiences specific pressure on all life-support systems. The presence of several types of parasites in the animal's body does not leave this animal a chance to survive.

Keywords: parasitocenoses; game waterfowl; biological resources; ecology; parasitological research.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-5-9

Введение. Есть много примеров, когда паразитические объекты приспосабливались к паразитированию, подстраиваясь к условиям обитания их хозяев. По сути это все паразитические существа, которые в процессе эволюции встроили циклы своего развития в биологические процессы жизни зверей, птиц и человека. В последние десятилетия это стало наиболее заметно, и паразитические существа совершенно по новому, запустили свой адаптационный процесс. К ним можно отнести большинство микроорганизмов, которые сумели адаптироваться к антибиотикам и другим лекарственным веществам. Еще больше примеров адаптаций можно найти среди паразитических червей, насекомых и простейших. Использование современных химических препаратов, минеральных удобрений в растениеводстве, антгельминтиков в медицине и ветеринарии вынудило большинство паразитов приспосабливаться к создавшимся условиям внешней среды.

Даже в ситуации прессинга, паразиты находятся в сравнительно адекватных условиях, так как любой препарат, действуя на паразита, вначале частично нейтрализуется организмом хозяина. Остаточная концентрация антгельминтика, антибиотика или другого вещества практически теряет свое губительное действие на паразита. В крайнем случае, он включает свои защитно-приспособительные реакции.

К примеру, аскарида *(Ascaris suum)* при использовании большинства антгельминтиков, которые ранее губительно действовали на половозрелые особи этих нематод, в последнее время начали реагировать повышенным выделением во внешнюю среду яиц. Особенность адаптации является то, что увеличение выделенных яиц у аскариды происходит за счёт незрелых форм. Это резвившаяся особенность в целях сохранения себя как вида – *(Ascaris suum)*. Эти незрелые формы получили способность дозревать во внешней среде.

Как было сказано ранее, паразитоценоз – это сообщество различных видов паразитов, которые для своего образа существования избрали органы или ткани одного организма. В качестве такого организма может быть и организм человека.

В состав ассоциации могут входить гельминты, простейшие, вирусы, бактерии, хламидии, грибы и другие сочлены в различных сочетаниях. Локализация паразитических агентов может быть: наружной (эктопаразиты), внутренней (эндопаразиты), смешанной, постоянной (облигатной) или временной (факультативной).

Уровни паразитоценоза могут быть: организменные (многоклеточные, например – гельминты или членистоногие), клеточные (одноклеточные, например – простейшие, бактерии), генетические (например, вирусы) и комбинированные (смешанные – сочетания различных уровней). В организме хозяина могут образовываться простые паразитоценозы (сочетание организмов на одном из уровней) и сложные (многовидовое сочетание агентов на разных уровнях) [3].

Средой обитания паразитов является и организм хозяина, и внешняя среда, в которой находится хозяин паразита. Поэтому место обитания возбудителя болезни в организме хозяина называют средой первого порядка, а внешние условия – средой второго порядка.

В нашем случае речь идет о диагностике инвазионных болезней диких видов охотничьих водоплавающих птиц, обитающих в Беларуси.

Материалы и методы. Проведение диагностики инфекционных и инвазионных болезней у сельскохозяйственных и домашних животных обычное и общепринятое мероприятие, позволяющее при наличии современного лабораторного оборудования в короткий период времени определить вид патогена и степень его опасности для животных, а соответственно и человека [1; 2].

При проведении лабораторных исследований у диких зверей и птиц, то здесь основная трудность состоит в поимке (добыче) объектов исследования. Для проведения паразитологических исследований мы использовали материал, полученный в процессе сезонных охот на водоплавающую дичь, так как установить клиническое проявление этого заболевания в природной среде их обитания невозможно.

Причин этому несколько. В первом случае, при незначительной степени инвазии и достаточной устойчивости организма болезнь, как правило, заканчивается выздоровлением животного. Во втором случае – высокая степень инвазии снижает защитные реакции организма птицы и в случае неблагоприятных факторов окружающей среды или осложнений, вызванных условно патогенными микроорганизмами, наступает гибель животных.

Места гибели больных животных достаточно сложно обнаружить, так как заболевшие звери и птицы, в этот период, стараются забраться в укромные места с наименьшим фактором беспокойства. Не редко они там погибают или становятся легкой добычей хищников.

Трупы павших животных в дикой природе, благодаря большому количеству различных биологических «утилизаторов», исчезают достаточно быстро. Поэтому, установить патолого-анатомические изменения в организме животных удается только после добычи их в период лицензионных охот.

Исследования проводили с 2019 по 2024 год. За этот период нами были добыты и осмотрены 6 видов птиц, принадлежащих к отряду Anseriformes: кряква обыкновенная *(Anas platyrhynchos)* – 81 особь, утка серая *(Anas strepera)* – 21 особь, чирок-свистунок *(Anas crecca)* – 96 особей, свиязь *(Anas penelope)* – 19 особей, утка широконоска *(Anas clypeata)* – 27 особей, чернеть хохлатая *(Aythya fuligula)* – 6 особей.

В процессе исследований у добытых птиц вскрывали желудочно-кишечный тракт и изучали содержимое пищевода, желудка и кишечника. Тщательным образом исследовали кожные покровы и мышечные волокна.

Результаты и их обсуждение. Ветеринарная и медицинская службы достаточно успешно справляются с вопросами по недопущению эпизоотий в животноводческих хозяйствах, однако инфекционной и инвазионной патологией среди представителей охотничьих видов животных в Беларуси практически не занимаются. Паразитарные заболевания диких зверей и птиц в основном вышли из поля зрения ветеринарных и медицинских работников, за исключением единичных случаев появления трихинеллеза.

В результате наших исследований установлен достаточно широкий спектр паразитических организмов обитающих на водоплавающих птицах.

Одним из таких паразитарных заболеваний является саркоцистоз (саркоспоридиоз) – паразитарное заболевание птиц, рептилий и млекопитающих, вызываемое протистами рода Sarcocystis (саркоцистами). Эти представители семейства Sarcocystidae относятся к типу Apixomplexa, классу Conoidasida, порядку Eucoccidiorida (рис. 1).

Рис. 1. Тушки уток кряква обыкновенная *(Anas platyrhynchos)* (слева тушка свободная от паразитов, справа – тушка с грудными мышцами, пораженными саркоцистами) *Фото Ю. Г. Ляха, 24.09.2021*

Паразитозы, и в частности гельминтозы, вызываемые различными видами нематод, трематод, цестод и скребней, занимают основное место в патологии птиц. Отмечено, что у свободноживущих пернатых частота гельминтной инвазии с субклиническим течением очень высока, причем до 60 % всех гельминтозов составляют нематодозы.

Нематоды, круглые черви (Nematoda), тип первичнополостных червей. Надцарство: Eukaryota, Царство: Animalia, Тип/Отдел: Nematoda (рис. 2).

Не менее опасными возбудителями паразитозов водоплавающих птиц являются представители типа Plathelmintes, класса Cestoda, отряда Cyclophyllidea (цепни) и отряда Pseudophyllidea (лентецы) (рис. 2) [4].

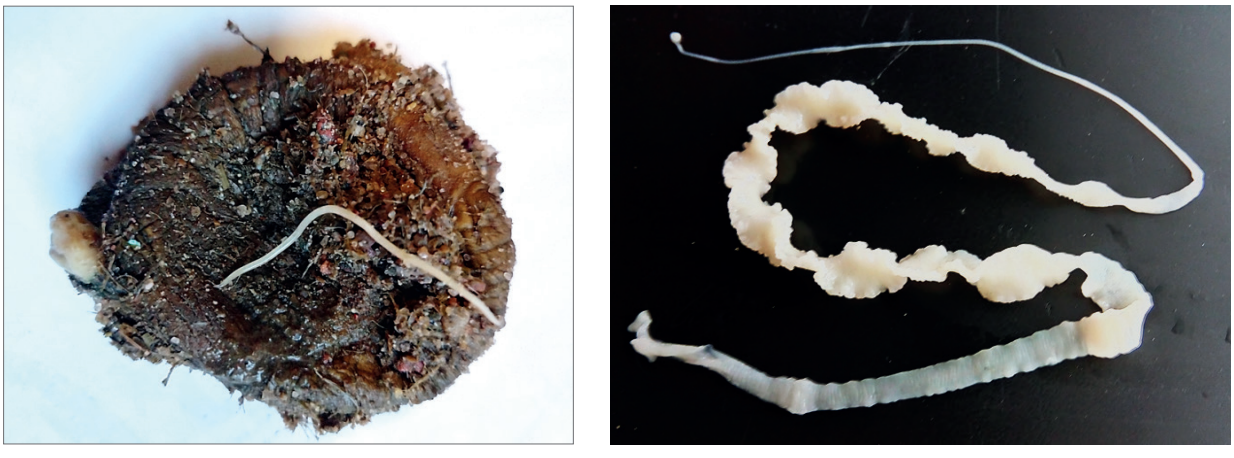


Рис. 2. На рисунке расположенном слева, видна нематода, обнаруженная в желудочно-кишечном тракте чирка свистунка *(Anas crecca)*. *(Фото Ю. Г. Ляха, 16.августа 2024 г.).* На рисунке справа – половозрелая цестода, обнаружена в тонком отделе кишечника чирка-свистунка *(Anas crecca) (Фото Ляха Ю. Г., 15 сентября 2023 г.)*

Кроме указанных видов, родов и семейств паразитических организмов определенное негативное влияние на водоплавающих птиц оказывает большое представительство эктопаразитов, которые обитают на поверхности тела своих хозяев, травмируя кожу и разрушая их перьевой покров [5].

Рис. 3. Эктопаразиты на кожном покрове кряквы обыкновенной *(Anas platyrhynchos). (Фото Ю. Г. Ляха, 2021-2023г.г.)*

Представленные на рисунках объекты паразитарной фауны нами были обнаружены при изучении тушек охотничьих видов водоплавающих птиц. Исследуемая птица была добыта в период сезонных охот с 2019-2024 г. на водоемах Молодечненского района Минской области.

Одним из основных показателей экологического благополучия природной среды является сохранение биологического разнообразия не только среди царства растений, но и представителей фауны. Беларусь в этом отношении имеет полное право считаться республикой, в которой все виды хозяйственной деятельности неразрывно связаны с экологическими проработками.

Отдельно следует остановиться на охране и увеличении видового разнообразия среди диких видов зверей и птиц, которые в изобилии обитают в природных ландшафтах Беларуси.

Фауна Беларуси насчитывает более 400 видов позвоночных и несколько десятков тысяч беспозвоночных. В Беларуси зарегистрировано 290 видов птиц. Из них 224 гнездятся на территории страны, 24 прилетают только во время сезонных перелетов, 30 залетают регулярно и 4 вида прилетают на зимовку.

Инфекционные заболевания представляют собой проблему мирового значения. Оценка интенсивности эпизоотического процесса оценивается в первую очередь специфическими показателями заболеваемости.

Эти болезни являются существующими объективными причинами, которые влияют на сохранность и рост численности видовых популяций. Водоплавающая птица, обитающая на водоемах Беларуси, не только болеет, но и в разной степени является переносчиком возбудителей вирусных, бактериальных и паразитарных болезней.

Результаты паразитологических исследований птицы, добытой в период сезонных охот на водоемах Минской области позволяют вести речь не только о присутствии у них возбудителей паразитарных заболеваний, но и образование ими паразитоценозов.

Биографические ссылки

1. *Гринек А. Н., Лях Ю. Г.* Значение мониторинга бактериальных инфекций водоплавающих птиц на особо охраняемых природных территориях Беларуси. II Международный научно-практический семинар «Современные технологии в деятельности ООПТ: ГИС, ДЗЗ» (ГИС-Нарoч-2016) Нарочь 11-13 мая 2016. С. 45-50.

2. *Лях Ю. Г., Гринек А. Н.* Мониторинг бактериальной микрофлоры охотничьих птиц Беларуси. // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века: материалы 20-й международной научной конференции, 21-22 мая 2020, г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ; под ред. С. А. Маскевича. Минск, 2020. Ч.1. С. 270-274.

3. Рациональное использование биоразнообразия водоплавающей дичи в Беларуси и профилактика паразитоценозов. Ю. Г. Лях [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Роль аграрного образования и науки в устойчивом развитии агропромышленного комплекса», посвященная 45-летию со дня образования Забайкальского аграрного института филиала ФГБОУ ВО «ИрГАУ им. А. А. Ежевского». г. Чита. 6 декабря 2024 г. С. 320-326.

4. *Лях Ю. Г.* Цестоды и цестодозы диких водоплавающих птиц обитающих на водоемах Молодечненского района Беларуси. // Сборник научных трудов УО «БГСХА» «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства». Выпуск 27, ч.2. г. Горки, 2024. С. 212-220.

5. *Лях Ю. Г., Солодкий М. А.* Эктопаразиты охотничьих птиц и способы их изучения // Международная конференция «Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия и экологически сбалансированного природопользования на Западном Кавказе» г. Сухум. 5-8 мая 2019. г. Нальчик, 2019. С. 55-56.

МЕДИКО-ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ, АНТИОКСИДАНТНАЯ И ИММУНОМОДУЛИРУЮЩАЯ ОЦЕНКА ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ

Е. Г. Бусько[1)], **Я. А. Сергеева**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, yana-sergeeva8@bk.ru*

В представленном исследовании установлено, что важнейшими компонентами эхинацеи пурпурной являются алкиламиды, полисахариды, гликопротеины, флавоноиды и фенольные соединения, к которым относятся производные кофейной кислоты, такие как кофейная кислота, цикоровая кислота, кафтаровая кислота, хлорогеновая кислота и эхинакозид, количество которых варьируется в зависимости от региона ее произрастания. Выявлено, что антиоксиданты, иммуномодуляторы, противовоспалительные, антибактериальные, противовирусные и антиостеопоротические свойства – это лишь некоторые из положительных биологических эффектов растения, которые указывают на то, насколько важен этот вид в экосистеме.

Ключевые слова: Эхинацея пурпурная (Echinacea purpurea L.); биологически активные соединения; иммуномодулирующее; каннабиномиметическое; противовоспалительное; противовирусное; противомикробное и антиоксидантное действие.

MEDICAL-PHARMACOLOGICAL, ANTIOXIDANT AND IMMUNOMODULATING EVALUATION OF ECHINACEA PURPUREA L.

E. G. Busko[1)], **Y. A.Sergeeva**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, yana-sergeeva8@bk.ru*

The present study has found that the most important components of Echinacea purpurea are alkylamides, polysaccharides, glycoproteins, flavonoids and phenolic compounds, including caffeic acid derivatives such as caffeic acid, chicoric acid, caftaric acid, chlorogenic acid and echinacoside, the amounts of which varies depending on the region of its growth. It was found that antioxidants, immunomodulators, anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, and anti-osteoporotic properties are just some of the positive biological effects of the plant, which indicate how important these species is in the ecosystem.

Keywords: Echinacea purpurea L.; biologically active compounds; immunomodulatory; cannabinomimetic; anti-inflammatory; antiviral; antimicrobial; antioxidant effect.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-10-14

Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.) – многолетнее травянистое цветущее растение, принадлежащее семейству Астровые. Род эхинацеи родом из Северной Америки, в США, его виды широко распространены повсеместно. Существует девять различных видов эхинацеи, но только три из них используются как лекарственные растения с широким терапевтическим применением. Из видов эхинацеи выделено несколько значительных групп биологически активных соединений с фармакологической активностью. В настоящем материале представлены химические компоненты, биологически активных соединений, медико-фармакологические свойства и терапевтическое действие препаратов эхинацеи пурпурной. Поскольку многочисленные исследования подтверждают, что столь известный и признанный вид нуждается в дальнейшем его изучении для получения эффективных медицинских препаратов с гарантией безопасности.

Объектами исследования служили высушенные в естественных условиях без доступа солнечных лучей побеги растений эхинацея пурпурной, отобранных из коллекционного фонда лаборатории биоразнообразия растительных ресурсов Центрального ботанического сада НАН Беларуси в 2023 году на основных этапах сезонного цикла развития растений. Заготовку сырья эхинацеи пурпурной осуществляли из особей времени ее культивирования в ЦБС НАН Беларуси.

После определения надземных органов эхинацеи пурпурной с преобладающим содержанием целевых компонентов, выполняли анализ влияния условий окружающей среды и показателей процесса экстрагирования флавоноидов (концентрации этилового спирта, температуры, отношения массы сырья к объему экстрагента, продолжительности и кратности экстракции) при конвективном нагреве. Сравнительную оценку деструкции растительной ткани после экстракции различными способами выполняли с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610.

Определение выхода флавоноидов (% от массы сырья) из генеративных органов эхинацеи пурпурной осуществляли методом дифференциальной спектрометрии по реакции образования комплекса данных соединений с хлоридом алюминия согласно методике, приведенной в Государственной фармакопее Республики Беларусь. Для определения общего выхода флавоноидов из листьев эхинацеи пурпурной методом дифференциальной спектрометрии разрабатывали методику и проводили ее валидацию [1].

Оценку антимикробной активности растительных экстрактов проводили методом диффузии БАВ в агаризованную питательную среду. В качестве тестмикроорганизмов использовали *Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus, Escherichia coli ATCC 8739, Pseudomonas aeruginosa* и дрожжеподобные грибы *Candida albicans* ATCC 10231 из коллекции микроорганизмов кафедры биотехнологии БГТУ.

В лабораторных условиях получали опытные образцы средства в виде геля для наружного применения, содержащего высушенные водно-этанольные экстракты из соцветий эхинацеи пурпурной, и на модели плоскостных и полнослойных линейных ран у крыс линии Wistar на базе ГП «НПЦ ЛОТИОС» и ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси» исследовали их ранозаживляющие свойства с соблюдением принципов биоэтики.

Из всех видов эхинацеи в настоящее время выделено несколько значительных групп биологически активных соединений с фармакологической активностью. Важнейшими компонентами эхинацеи пурпурной являются алкиламиды, полисахариды, гликопротеины, флавоноиды и фенольные соединения, к которым относятся производные кофейной кислоты, такие как кофейная кислота, цикоровая кислота, кафтаровая кислота, хлорогеновая кислота и эхинакозид, количество которых варьируется в зависимости от региона ее произрастания. Помимо этих компонентов нами также выявлено, что во всех тканях растений независимо от вида присутствуют филлоксантобилины, β-фелландрен, ацетальдегид, диметилсульфид, камфен, гексаналь, α-пинен и лимонен. Жирные кислоты, альдегиды и терпеноиды являются компонентами, присутствие которых зависит от используемых частей растений.

Исследование сезонной динамики накопления флавоноидов в генеративных органах эхинацеи пурпурной, показало, что максимальное их содержание выявлено в период бутонизации. На последующих этапах сезонного развития растений происходило постепенное снижение суммарного количества флавоноидов.

Анализ водно-этанольных экстрактов из генеративных органов эхинацеи пурпурной методом ВЭЖХ-МС показал отсутствие различий в качественном составе флавоноидов в периоды бутонизации и цветения. В каждом образце идентифицирован кемпферол-3-О-глюкозид, максимальное содержание которого так же, как и общее количество флавоноидов, установлено в период бутонизации (табл. 1).

Таблица 1

Содержание кемпферол-3-О-глюкозида в генеративных органах эхинацеи пурпурной

Фенологическая фаза	Содержание кемпферол-3-О-глюкозида, мг/г сырья
Бутонизация	$4,06 \pm 0,11^{a}$
Начало цветения	$3,91 \pm 0,09^{ab}$
Массовое цветение	$3,86 \pm 0,07^{b}$

Примечание. Индексы обозначают достоверно различающиеся значения результатов (тест Тьюки)

Это указывает на то, что генеративные органы эхинацеи пурпурной как источника этих биологически активных соединений целесообразно заготавливать на данном этапе развития растений.

Установлено, что листьях эхинацеи пурпурной минимальное содержание флавоноидов в сухой массе, не превышавшее 1,1 %, установлено на начальных этапах вегетативного развития растений. В дальнейшем наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению данного показателя до максимальных значений в фазу цветения, сменявшаяся его снижением в период плодоношения.

В листьях эхинацеи пурпурной минимальное содержание флавоноидов в сухой массе, не превышавшее 1,1 %, установлено на начальных этапах вегетативного развития растений. В дальнейшем наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению данного показателя до максимальных значений в фазу цветения, сменявшаяся его снижением в период плодоношения. Наиболее высокое содержание изокверцитрина в листьях эхинацеи пурпурной установлено в фазу цветения (табл. 2).

Таблица 2

Содержание изокверцитрина в листьях эхинацеи пурпурной

Фенологическая фаза	Содержание кемпферол-3-О-глюкозида, мг/г сырья
Бутонизация	$2.09 \pm 0,9$
Цветения	$4.22 \pm 0,18^{b}$
Плодоношение	$3,64 \pm 0,16^{c}$

Примечание. Индексы обозначают достоверно различающиеся значения результатов (тест Тьюки)

В листьях эхинацеи пурпурной минимальное содержание флавоноидов в сухой массе, не превышавшее 1,1 %, установлено на начальных этапах вегетативного развития растений. В дальнейшем наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению данного показателя до максимальных значений в фазу цветения, сменявшаяся его снижением в период плодоношения. Наиболее высокое содержание изокверцитрина в листьях эхинацеи пурпурной установлено в фазу цветения (таблица 2).

Химическими компонентами, ответственными за иммуномодулирующую активность корней эхинацеи пурпурной, являются гликопротеины, алкиламиды и полисахариды. Гликопротеины – это белки и углеводные цепи, которые играют роль в различных физиологических процессах, в том числе в иммунологии. Алкиламиды – это разновидность химического вещества, обнаруженного в роде *Echinacea (Asteraceae)*, которое, как было отмечено, обладает высокой биодоступностью, а также иммуномодулирующими свойствами. Структурно они имеют общую черту аминной связи и обычно содержат алифатическую цепь полиненасыщенных жирных кислот, соединенную с короткоцепочечным амином. Полисахариды – это сложные углеводные полимеры, состоящие из более чем двух моносахаридов. Семейство сложноцветных содержит важные полисахариды, пектины, арабиногалактаны

и инулин. Биоактивные полисахариды могут частично обосновать традиционное использование этих видов.

Важными компонентами, выделенными из экстракта листьев эхинацеи пурпурной, являются филлоксантобилины. Распад хлорофилла приводит к образованию этих природных тетрапиррольных соединений. Филлоксантобилины были идентифицированы в листьях лиственных деревьев около 10 лет назад и в настоящее время считаются классом соединений с большим потенциалом биологической активности, который еще предстоит изучить. Однако до настоящего времени не было сообщений об выявлении филлоксантобинов в частях лекарственного растения, используемого в фармацевтических препаратах.

В современных фармакологических исследованиях были обнаружены многие биологические соединения ЭР, включая иммуномодулирующую, противовоспалительную, антиоксидантную, противовирусную и противогрибковую активность. В качестве потенциального терапевтического применения ЭП были упомянуты хронический артрит, рак, противомикробное действие, синдром стойкой усталости, ВИЧ-инфекция, ряд кожных заболеваний, ран и хронических инфекций органов малого таза. Препараты, содержащие ЭП, являются одними из самых продаваемых растительных препаратов в Европе и США. Согласно текущим исследованиям, добавление ЭР может снизить тяжесть и продолжительность острых инфекций дыхательных путей; однако не было установлено исследований по использованию эхинацеи для профилактики или лечения вирусной инфекции SARS-CoV.

В настоящее время количество лекарственных растений, подлежащих научным исследованиям, увеличивается. Известные лекарственные растения интенсивно изучаются с целью получения наиболее точных данных о химическом составе, фармакологическом действии и безопасности применения в терапии. Ряд исследователей обобщают наиболее важные компоненты, выявленные в эхинацее пурпурной, а также научно подтвержденные биологические и фармакологические эффекты. Можно утверждать, что большинство установленных эффектов являются общими для нескольких соединений, например, иммуномодулирующее, антиоксидантное или противомикробное действие.

За иммуностимулирующее действие видов или препаратов эхинацеи ответственны три направления: активация фагоцитоза, стимуляция фибробластов и усиление дыхательной активности – все они способствуют увеличению подвижности лейкоцитов. Исследования *in vivo* иммуномодулирующих и противовоспалительных свойств эхинацеи пурпурной позволяют предположить, что введение растения в качестве медицинского препарата повышает врожденный иммунитет и усиливает способность иммунной системы бороться с патогенными инфекциями путем активации нейтрофилов, макрофагов и полиморфных клеток.

Корни и надземная часть ахинацеи включают производные кофейной кислоты, алкамиды, кетоалкены, полисахариды и гликопротеины. Считается, что они отвечают за иммуностимулирующие и противовоспалительные свойства. В макрофагах после лечения экстрактом эхинацеи установлен фагоцитоз и продукция цитокинов (повышение фактора некроза опухоли -α (TNF-α), интерлейкина 1 (IL-1) и интерферона.

Выполненные исследования вида *Echinacea purpurea* (L) выявили широкий спектр биологически активных соединений, что указывает на то, что это богатый источник фитохимических веществ, которые можно использовать для лечения ряда заболеваний. Антиоксиданты, иммуномодуляторы, противовоспалительные, антибактериальные, противовирусные и антиостеопоротические свойства – это лишь некоторые из положительных биологических эффектов, которые указывают на то, насколько важен этот вид в экосистеме. Существуют различия в фитохимических, биологических и фармакологических свойствах экстрактов, полученных из разных источников.

Результаты исследований показывают, что меры по стандартизации необходимы для обеспечения не только безопасности и идентификации ботанических продуктов, но и их фарма-

кологической эффективности. ЭП является источником биологически активных химических веществ, но изучена лишь небольшая часть его характеристик, и некоторые из них могут быть ценными терапевтическими инструментами. В будущем важно расширить исследования дерматологических эффектов. Существуют реальные шансы на разработку продуктов на основе ЭР, эффективных при различных распространенных дерматологических заболеваниях, обусловленных биологически активными соединениями. В то же время дальнейшие исследования по углубленному пониманию каннабиномиметических свойств имеют большое значение для разработки новых фармацевтических препаратов.

Библиографические ссылки

1. *Адамцевич Н. Ю., Закржевская Е. И., Феськова Е. Ф.* Разработка и валидация методики количественного определения флавоноидов в листьях воробейника лекарственного *(Boraginaceae)* // Растительные ресурсы, 2022. № 1 С. 100–108.

2. *Harborn J. B., Williams C. A.* Phytochemistry of the Genus Echinacea, Echinacea. CRC Press; Boca Raton, FL, USA, 2004. p. 71–88.

3. *Attarzade M., Balouch H., Rajai M.* Improving growth and phenolic compounds of Echinacea purpurea root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. Ind. Crop. Prod., 2020. 154 p.

4. *Bruni R., Brighenti V., Caesar L. K.* Analytical methods for the study of bioactive compounds from medicinally used Echinacea species. J. Pharm. Biomed. Anal., 2018. p. 443–477.

5. *Heinen-Kammerer T., Holtmannspötter C., Schnabel S.* Effectiveness of echinacin in therapy of chronic recurrent respiratory disease. Gesundheitswesen. 2005. Vol. 4. P. 296–301.

7. *Karsch-Völk M., Barrett B., Kiefer D.* Echinacea for preventing and treating the common cold. Cochrane Database Syst. Rev, 2014.

APPLICATION PROSPECTS OF SAR TECHNOLOGY IN ENVIRONMENTAL MONITORING

Hu Wentao[1)], **Aleh Rodzkin**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, rodzkin@iseu.by*

The rapid advancement of Synthetic Aperture Radar (SAR) technology has opened new frontiers in environmental monitoring, providing unique capabilities for observing and analyzing environmental processes across vast and remote areas. Unlike optical sensors, SAR operates in all weather conditions and during both day and night, making it an invaluable tool for continuous and reliable environmental surveillance. This paper explores the application prospects of SAR technology in various environmental monitoring domains, including land use change, vegetation health, natural disaster management, and climate change monitoring. It examines the integration of SAR with other remote sensing technologies and highlights case studies where SAR has been successfully applied, such as in tracking deforestation, monitoring soil moisture, and assessing land subsidence. Despite its advantages, challenges remain in data interpretation, resolution versus coverage trade-offs, and the integration of multi-source data. Nevertheless, the future of SAR in environmental monitoring is promising, with ongoing advancements in sensor technology, data processing algorithms, and machine learning techniques offering the potential for real-time, large-scale environmental management.

Keywords: Synthetic Aperture Radar (SAR); Environmental Monitoring; Land Use Change.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ SAR ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ху Вэньтао[1)], **О. И. Родькин**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, rodzkin@iseu.by*

Быстрое развитие технологии радиолокации с синтезированной апертурой (SAR) открыло новые горизонты в экологическом мониторинге, предоставляя уникальные возможности для наблюдения и анализа экологических процессов на обширных и удаленных территориях. В отличие от оптических датчиков, SAR работает при любых погодных условиях и времени суток, что делает его эффективным инструментом для непрерывного и надежного экологического наблюдения. В публикации рассматриваются перспективы применения технологии SAR в различных областях экологического мониторинга, включая землепользование, состояние растительности, управление стихийными бедствиями и мониторинг изменения климата. SAR совместим с другими технологиями дистанционного зондирования и имеются примеры успешного применения SAR, например, при отслеживании вырубки лесов, мониторинге влажности почвы и оценке проседания грунта. Несмотря на преимущества SAR, остаются проблемы в интерпретации данных, компромиссах между разрешением и покрытием и интеграции данных из нескольких источников. Тем не менее, будущее SAR в экологическом мониторинге перспективно, особенно с учетом развития сенсорных технологий, алгоритмов обработки данных и методов машинного обучения, формирующих основу для масштабного экологического управления в реальном времени.

Ключевые слова: Радиолокатор с синтезированной апертурой (SAR); мониторинг окружающей среды; изменение землепользования.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-15-19

Background

Environmental monitoring is an essential field of study that aims to assess, protect, and preserve the quality of the environment, ensuring that human activities do not cause irreversible damage to natural ecosystems. Traditional environmental monitoring systems rely on a variety of techniques, such as air and water quality sensors, remote sensing satellites, and field sampling. However, these systems are often limited in terms of spatial resolution, temporal accuracy, and the ability to respond dynamically to real-time environmental changes. Consequently, there has been an increasing demand for innovative technologies that can enhance the efficiency, precision, and scope of environmental monitoring systems.

Among the emerging technologies, Synthetic Aperture Radar (SAR) has garnered significant attention due to its unique capabilities. SAR is a remote sensing technology that uses radar to capture high-resolution images of the Earth's surface, irrespective of weather conditions or sunlight availability. This capability makes SAR particularly useful for monitoring various environmental parameters, including deforestation, agricultural expansion, land degradation, and even tracking natural disasters like floods, earthquakes, and wildfires. Unlike optical sensors, which are affected by cloud cover, SAR's all-weather, day-and-night imaging capability allows it to provide continuous monitoring over large and often inaccessible areas.

SAR technology has been widely adopted in space missions and is increasingly being integrated into Earth Observation (EO) systems. With advancements in SAR satellites and processing algorithms, the resolution and data quality have significantly improved, opening up new frontiers in environmental monitoring. These advancements have led to SAR being used in applications ranging from the detection of illegal logging activities to monitoring coastal erosion and glacier movements. Moreover, SAR's ability to measure soil moisture, detect urbanization patterns, and map wetlands has made it an invaluable tool for global environmental monitoring efforts.

The growing interest in the application of SAR for environmental monitoring is also driven by the increasing need for sustainable development. Monitoring environmental changes on a global scale and assessing the effects of climate change require reliable and scalable tools. SAR technology, with its high spatial and temporal resolution, plays a critical role in bridging this gap by enabling long-term monitoring of ecosystems, water bodies, and atmospheric conditions.

In this paper, we explore the application prospects of SAR technology in environmental monitoring, examining its current capabilities, its potential for addressing pressing environmental issues, and the future directions for enhancing its role in monitoring global environmental health.

Designing and research

The application of Synthetic Aperture Radar (SAR) technology in environmental monitoring involves a multi-faceted approach that integrates remote sensing, data processing, and environmental analysis. This section explores the design and research methodology used to evaluate the prospects of SAR technology in environmental monitoring, focusing on how SAR can be utilized to monitor key environmental parameters, the methodology for data collection and analysis, and the development of innovative applications for improved environmental assessment.

The design of an environmental monitoring system using SAR technology requires a robust framework that takes into account the diverse environmental parameters to be monitored, the temporal and spatial resolution needed, and the integration of SAR data with other geospatial and environmental data. Key considerations in the design process include:

Selection of SAR Sensors: Various SAR sensors, including X-band, C-band, and L-band, offer different advantages in terms of spatial resolution, penetration depth, and sensitivity to specific environmental features. X-band SAR, for example, is highly effective for urban and infrastructure monitoring due to its high resolution, while L-band SAR is better suited for vegetation monitoring because of its ability to penetrate dense vegetation.

Satellite Platforms and Data Acquisition: The selection of appropriate satellite platforms is crucial to ensure the consistent and timely acquisition of SAR data. Current SAR satellites, such as

the Sentinel-1 mission by the European Space Agency (ESA), provide free access to high-resolution radar imagery. The Radarsat-2 satellite (Canada), TerraSAR-X (Germany), and the ALOS-2 (Japan) missions also offer valuable data. Depending on the region and the target application, the temporal resolution (how frequently the satellite revisits a location) and the spatial resolution (the detail level of the images) need to be optimized.

Geospatial Integration: Integrating SAR data with Geographic Information Systems (GIS) and other environmental data sources enhances the overall monitoring framework. For example, combining SAR data with optical imagery, soil moisture data, and climate models can improve the detection and interpretation of environmental changes. A well-designed system also incorporates machine learning algorithms to detect trends and anomalies in large SAR datasets.

To fully exploit the capabilities of SAR for environmental monitoring, the design must include methods for efficient data collection, pre-processing, and analysis. The following steps outline key stages in the data handling process:

Data Collection: SAR satellites collect raw radar signals that are processed to produce high-resolution images of the Earth's surface. These images provide a wealth of information about land cover, vegetation structure, soil moisture, and even subsiding areas due to human activity. The data collected is typically georeferenced to ensure accuracy in spatial location, enabling better correlation with environmental data from other sources.

Pre-processing: SAR data often requires extensive pre-processing before it can be effectively analyzed. This includes geometric correction (to remove distortions due to the satellite's movement and Earth's curvature), radiometric calibration (to standardize the radar signal), and filtering to reduce noise and enhance signal quality. Specialized software tools like SNAP (Sentinel Application Platform) or PolSARpro (for polarimetric SAR data) are commonly used for pre-processing.

Change Detection and Analysis: One of the primary applications of SAR in environmental monitoring is change detection. By comparing SAR images over time, researchers can track changes in land use, vegetation health, or the effects of natural disasters. Differential SAR interferometry (InSAR) is often employed to detect subsidence or vertical ground movement, a key indicator of environmental stress, such as land degradation, deforestation, or the collapse of infrastructure.

Monitoring Environmental Parameters: Several environmental parameters can be assessed using SAR technology:

Land Cover Classification: By analyzing the radar backscatter, SAR data can distinguish between various land cover types, such as forests, urban areas, water bodies, and agricultural land. Machine learning algorithms like Random Forest and Support Vector Machines (SVM) are used to classify land cover with high accuracy.

Vegetation and Soil Moisture Monitoring: SAR's sensitivity to moisture content makes it an effective tool for monitoring soil moisture levels and vegetation health. This is particularly important for assessing droughts, crop yields, and vegetation stress.

Flood and Disaster Monitoring: SAR is highly effective in tracking floods, as the radar waves can penetrate cloud cover and measure water surface elevation changes. By analyzing pre- and post-event imagery, researchers can assess flood extent, predict flood behavior, and identify areas of potential future risk.

Discussion and conclusion

SAR's spatial resolution allows for detailed mapping of environmental features, such as forests, agricultural areas, urban settlements, and wetlands (fig 1). For example, the Sentinel-1 mission, a dual-polarimetric SAR system operated by the European Space Agency (ESA), provides data with a spatial resolution of up to 10 meters in single polarization mode, allowing for precise land cover classification and vegetation health monitoring. Furthermore, Radarsat-2, with its 3-meter spatial resolution, is often used to detect minute ground deformations, especially useful in monitoring ground subsidence or structural deformations caused by industrial activities or natural disasters.

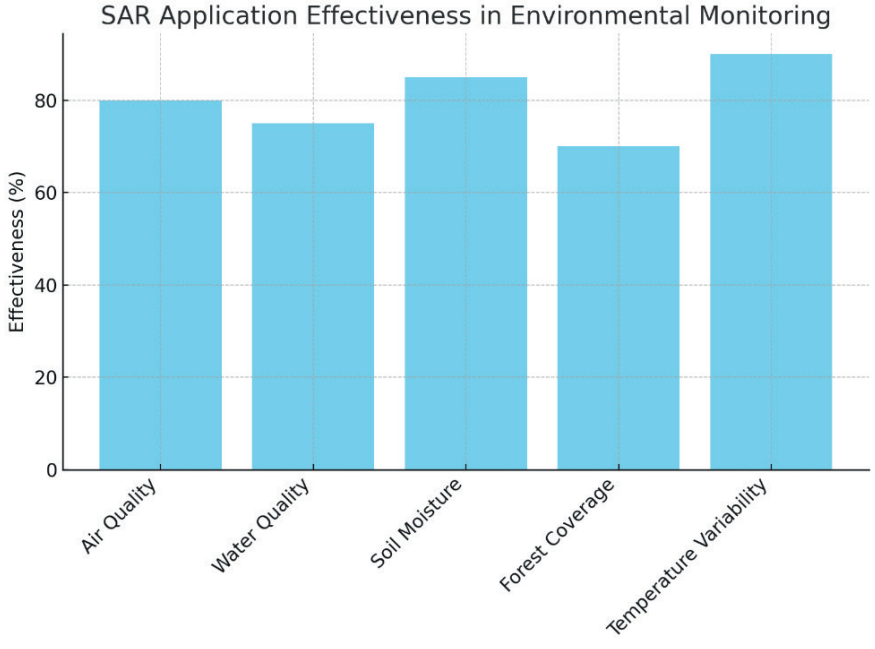


Fig. 1. SAR Application Effectiveness in Environmental Monitoring

Temporal resolution is another significant advantage of SAR. The Sentinel-1 constellation, for instance, offers a revisit time of 6 days globally (or even 3 days in some regions), ensuring that continuous monitoring of environmental processes such as flooding, vegetation growth, and deforestation can be carried out. The high revisit rate enables timely detection of environmental changes, making SAR a reliable tool for monitoring rapid events like floods or wildfires, as well as slow-moving phenomena such as coastal erosion or land subsidence.

One of the most well-documented applications of SAR technology is its capacity to monitor vegetation dynamics, which is critical for environmental management, food security, and climate change studies. Through analyzing radar backscatter, SAR can detect variations in vegetation cover and biomass, particularly in areas with dense canopy or under cloud cover, where optical satellites might fail.

SAR technology is invaluable for monitoring and assessing environmental hazards, especially in regions prone to natural disasters. One of the most notable applications of SAR is flood monitoring. Unlike optical sensors, SAR can penetrate through clouds and detect flood water levels. For example, in India, SAR imagery from Sentinel-1 was instrumental in mapping the 2019 Kerala floods, providing rapid assessments of inundated areas. Using SAR's interferometric capabilities, changes in the earth's surface due to land subsidence can also be measured, providing critical information for disaster response and risk management.

A notable technique in SAR for detecting ground displacement is Differential SAR Interferometry (InSAR), which can measure millimeter-scale displacements. This technique has been used extensively to track land subsidence in California due to excessive groundwater extraction, and volcanic ground movements in regions like Iceland and Japan. By detecting vertical movements of the Earth's surface, InSAR helps monitor potential seismic hazards and provides early warnings for earthquakes and volcanic eruptions. SAR-based monitoring has also proven effective in assessing the long-term effects of natural disasters. For example, SAR data was used to track coastal erosion along the Alaskan coast, where rising sea levels and stronger storms have led to rapid changes in coastal landscapes. In combination with other remote sensing data, SAR provides a comprehensive understanding of long-term environmental stressors such as climate change. SAR technology is profitable for introduction (fig. 2).

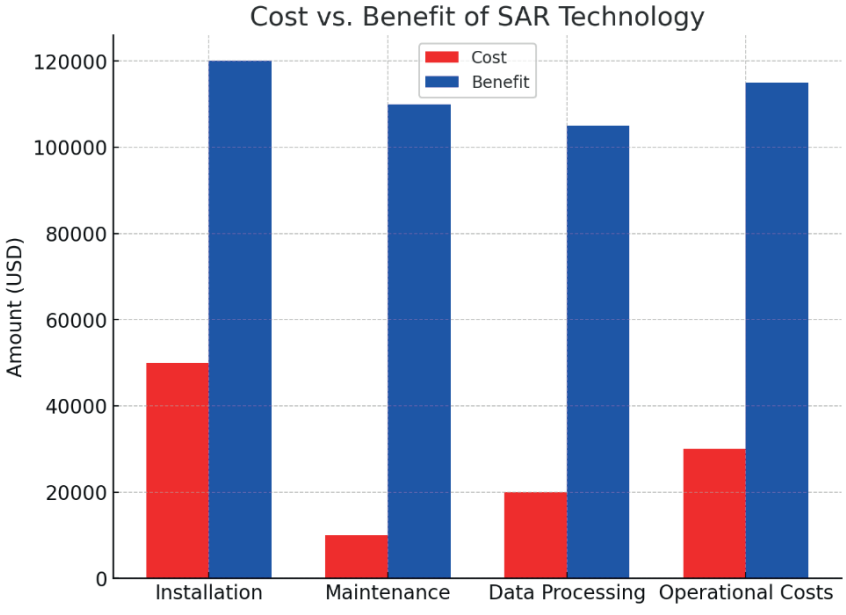


Fig. 2. Cost vs. Benefit of SAR Technology

Conclusion

In conclusion, SAR technology is a highly effective and versatile tool for environmental monitoring. Its unique ability to provide all-weather, day-and-night imaging has proven invaluable in tracking a variety of environmental parameters such as vegetation health, land subsidence, soil moisture, and the impact of natural disasters. As evidenced by numerous case studies and applications, SAR's potential to monitor global phenomena like climate change and local environmental changes such as forest degradation is immense. However, challenges such as data interpretation complexity, resolution and coverage trade-offs, and the need for integration with other remote sensing tools must be addressed in order to fully leverage SAR's potential. Ongoing advancements in SAR sensor technology, data processing algorithms, and multi-source

Reference

1. *Smith J., Liu Y.* The Role of SAR Technology in Environmental Monitoring and its Future Applications. Environmental Science & Technology, (2022). 56(4), 1112-1125.

2. *Zhang X., Huang Z.* Environmental Monitoring Techniques Using SAR Technology: A Review. Environmental Monitoring and Assessment, (2021). 193(12), 2345-2363.

3. *Chen P., Wang D.* Application of SAR Remote Sensing in Monitoring Environmental Pollution. Science of the Total Environment (2023). 812, 152385.

4. *Zhou T., Gao, H.* SAR-based monitoring of forest fires and its environmental impact assessment. Remote Sensing (2020), 12(8), 2349-2361.

5. *Li H., Chen W.* Monitoring Water Quality Using SAR Data: Prospects and Challenges. Water Resources Research (2021), 57(9), e2020WR028839.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ САПРОПЕЛЯ

О. М. Гайдукевич[1)], В. А. Ракович[1)], Б. В. Курзо[1)], А. А. Молочко[2)], В. Б. Кунцевич[1)]

[1)] ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси», ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, kurs2014@tut.by
[2)] Филиал «ТБЗ «Сергеевичское» УП «Мингаз», 222839, п. Правдинский, Пуховичский р-н, Минская обл., Беларусь

Исследовано состояние, ресурсы и перспективы использования выработанных торфяных месторождений Беларуси, подстилаемых залежами сапропеля. Выявлены проблемы при добыче сапропеля торфяников, выработаны современные требования к способам освоения таких месторождений. Предложен, научно обоснован и успешно опробован на опытном участке новый скважинный способ гидродобычи сапропеля из-под слоя торфа.

Ключевые слова: месторождения торфа и сапропеля; технология добычи сапропеля.

ECOLOGICAL STATE AND PROSPECTS FOR USING MINED PEAT LANDS FOR SAPROPEL EXTRACTION

O. M. Gaidukevich[1)], V. A. Rakovich[1)], B. V. Kurzo[1)], A. A. Molochko[2)], V. B. Kuntsevich[1)],

[1)] State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus», F. Skoriny St., 10, 220076, Minsk, Belarus, kurs2014@tut.by
[2)] Branch of «TBZ «Sergeevichskoye»UE «Mingaz» , Minsk Region, Pukhovichi District, Pravdinsky Settlement

The status, resources and prospects of use of mined-out peat deposits of Belarus, underlain by sapropel deposits, were studied. Challenges in the extraction of peat sapropel have been identified, and modern requirements for the methods of developing such deposits have been developed. A new borehole method for hydro-extraction of sapropel has been proposed, scientifically substantiated, and successfully tested at a pilot site.

Keywords: peat and sapropel deposits; sapropel extraction technology.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-20-24

Сапропель – аккумулирующиеся в озерах ледникового происхождения осадки с повышенным содержанием органического вещества. Когда такие осадки заполняют озерную чашу, то в результате заболачивания перекрываются торфом.

Сапропель является ценным природным ресурсом, в Республике Беларусь традиционно используется для создания разнообразной продукции сельскохозяйственного, промышленного и медицинского профиля. Эффективное использование этого ресурса возможно при внедрении современных технологий его добычи.

Выполненные ранее исследования по определению запасов, типологического состава и специфики размещения озерного и подстилающего торф сапропеля показали, что примерно каждый третий торфяник на территории республики подстилается сапропелем [1], что свидетельствует об озерной стадии в его развитии. Всего в Беларуси выявлено 1256 торфяных месторождений с сапропелем [2]. Суммарные запасы сапропеля здесь составляют около 1,3 млрд.м^3.

Установлено, что ресурсы сапропеля на торфяных месторождениях размещены по территории республики более равномерно, чем озерного сапропеля. Практически нет административных районов без разведанных запасов сапропеля под торфом, тогда как без ресурсов озерного сапропеля насчитывается 34 района. В Витебской области ресурсы озерного сапропеля заметно преобладают над погребенными под торфом, в Гродненской и Гомельской – сопоставимы по объему, а в остальных областях превалируют на торфяных месторождениях. По причине широкого развития болотообразовательных процессов на водосборах древних озер в Брестской области ресурсы торфоподстилающего сапропеля в 1,5 раза, в Могилевской и центре Минской в 2 раза больше, чем в современных озерах [3].

Выявлено, что типологический состав сапропеля под торфом более сбалансирован, чем сосредоточенного в озерах. Запасы кремнеземистого, органического и карбонатного типов здесь практически равны и составляют соответственно 32, 29 и 27 % от общих под торфом, тогда как в озерах около 70 % ресурсов приходится на кремнеземистый сапропель. Практически в каждом торфяном месторождении с сапропелем присутствуют все известные типологические слои, а самые ценные для практического использования органические сапропели и торфосапропели располагаются сразу под торфяной залежью.

Общая площадь выработанных (их около 90 %) и разрабатываемых торфяных месторождений в Беларуси составляет около 320 тыс. гектаров [4; 5]. Главная особенность таких осушенных месторождений – ежегодное уменьшение глубины торфяного слоя за счет усадки и минерализации органического вещества. Состояние и перспективы использования выработанных торфяных месторождений описаны в [5], где определены направления их использования: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, водохозяйственное, создание охотничьих угодий и садоводческих товариществ. Месторождения, имеющие под торфяной залежью отложения сапропеля, относятся к группе объектов для повторного заболачивания.

Ранее рекультивация выработанных торфяных месторождений предусматривала их передачу под сельскохозяйственное использование, реже – под строительство водохранилищ или под посадку леса. Часто под сельскохозяйственные угодья передавали выработанные торфяные месторождения, которые по своим природно-генетическим особенностям непригодны для этого. К неблагоприятным для сельскохозяйственного использования выработанным торфяным месторождениям относят месторождения с торфоподстилающим сапропелем. Здесь формируется контрастный амфибиальный водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя с периодической сменой в течение вегетационного периода окислительно-восстановительных условий и выделением токсичных веществ (сероводорода или метана). Это приводит к значительным колебаниям уровня грунтовых вод, что затрудняет развитие корневой системы растений и влияет на их продуктивность. В таких условиях корни растений могут испытывать как недостаток кислорода, так и переувлажнение, что негативно сказывается на их росте и устойчивости к заболеваниям. Высокая кислотность почвы этих территориях для роста сельскохозяйственных культур требует применения специальных агрономических мероприятий, таких как известкование.

Если выработанное торфяное месторождение предназначено для последующего повторного заболачивания, это предполагает необходимость полного извлечения ресурсов торфа и подстилающего его сапропеля. Этот принцип заключается в том, чтобы добиться максимальной эффективности и минимальных потерь при разработке месторождения. Для этого перед началом разработки необходимо провести детальное геологическое исследование месторождения, чтобы оценить запасы торфа и сапропеля, их характеристики и пространственное распределение. Освоение месторождений должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечить последовательное и рациональное извлечение ресурсов, а также учитывать возможные изменения в условиях работы. Предполагается выбор наиболее эффективных технологий разработки, которые обеспечат максимальное извлечение торфа и сапро-

пеля. Необходимо учитывать экологические последствия разработки. Это включает в себя защиту смежных экосистем и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. В процессе разработки необходимо осуществлять мониторинг состояния месторождения и качества извлекаемого сырья.

Таким образом, принцип максимально полного извлечения торфяной залежи и подстилающего ее сапропеля требует комплексного подхода, включающего тщательное планирование, выбор эффективных технологий и внимание к экологическим аспектам.

Анализ разрабатываемых 12 предприятиями ГПО «Белтопгаз» крупных торфяных месторождений показывает, что большинство их в той или иной мере подстилается сапропелем. Участки с повышенной мощностью сапропеля считаются сложными для добычи торфа и остаются невостребованными. По этой причине значительные ресурсы сапропеля торфяных болот слабо используются в практическом плане. В последнее время по инициативе и при научном сопровождении Института природопользования НАН Беларуси, после детальной разведки, введены в эксплуатацию участки по совместной добыче сапропеля и торфа в Пружанском и Пинском административных районах Брестской области.

Разработка залегающего под торфом сапропеля по применяемой в настоящее время экскаваторной технологии имеет ряд существенных недостатков, что снижает технико-экономические показатели его добычи. Для извлечения сапропеля торфяное месторождение или его участок осушается сетью каналов, сводится древесная и кустарниковая растительность, выполняется корчевание пней из торфяной залежи, удаляется прикрывающий сапропель слой торфа, что приводит к значительному удорожанию сапропелевого сырья.

Выработаны современные требования к новым способам освоения месторождений сапропеля. Это совместная добыча сапропеля и торфосапропеля, возможность работы на неосушенных торфяных месторождениях, селективность извлечения сапропеля и торфосапропеля, круглогодичность проведения работ, независимость от погодных условий, совмещение технологических операций, замена многооперационных процессов на малооперационные, снижение количества задействованной техники и использование выпускаемого промышленного оборудования, поточность, а не цикличность технологических операций, применение универсальных транспортных средств.

Выполнение изложенных выше требований возможно при реализации скважинной гидродобычи сапропеля и торфосапропеля. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых впервые предложена В. Ж. Аренсом [6]. Современной разновидностью гидромеханизации добычи торфа и сапропеля на осушенных и находящихся в естественном состоянии месторождениях является метод скважинной гидродобычи, который осуществляется с помощью размыва отдельных генетических слоев залежи тонкими струями воды высокого давления с одновременным засасыванием получаемой пульпы (гидромассы) и дальнейшим транспортированием ее по трубопроводам на сушку или участок переработки [7-10].

Технология скважинной гидромеханизированной добычи залегающего под торфом сапропеля позволит значительно сократить производственные затраты как на стадии освоения месторождения частичным исключением этапов болотно-подготовительных работ, так и на стадии его эксплуатации за счет применения ресурсосберегающего трубопроводного транспорта подачи сапропеля на участок сушки, обезвоживания или непосредственно на переработку. Кроме того, указанная технология будет иметь экологические преимущества перед известными технологиями за счет минимального воздействия на болотные ландшафты.

Разработка позволит существенно, в 2,5-3 раза, сократить расходы на болотно-подготовительные работы и экономить около 500-600 тыс. руб. при создании участка по добыче сапропеля по новой технологии. Окупаемость капитальных затрат при создании участка по скважинной добыче сапропеля составит менее одного года. Металлоемкость технологии снижена в 6-7 раз по сравнению с известным российским аналогом, а капитальные вложения – в 5 раз.

По сравнению с существующими способами разработки такого рода месторождений предлагаемый способ добычи более экологичен, так как практически не нарушает сложившееся гидрологическое и биосферное равновесие на заболоченной территории, ввиду отсутствия дополнительного осушения торфяной залежи практически не происходит увеличения эмиссии парниковых газов, на 80 % сохраняется древесно-кустарничковый и моховой ярусы болотной растительности, коэффициент использования запасов сапропеля возрастает с 0,6 до 0,8, полностью предотвращается опасность возникновения торфяных пожаров на стадии добычи сапропеля и после нее.

На выбранном для проверки возможности добычи сапропеля из-под торфа скважинным способом опытном участке торфяного месторождения Гала-Ковалевское Минской области запасы торфа значительно выработаны филиалом «ТБЗ «Сергеевичское» УП «Мингаз». Работы по добыче торфа фрезерным способом на участке были прекращены, когда оставшийся слой вследствие низкой несущей способности перестал обеспечивать достаточную проходимость технологического оборудования. По полученным данным изысканий средняя мощность торфа и сапропеля на участке составляет соответственно 0,86 м и 1,3 м. Грунтовые воды находятся на уровне 0,7 м, средняя влажность – 86 %. Оценена несущая способность торфяной залежи над сапропелем. Выявлено, что избыточно увлажненная торфо-сапропелевая залежь имеет низкие (на уровне 8-25 кПа) прочностные характеристики. Присутствие сапропеля в наибольшей степени способствует оползневым процессам залежей торфа. Торфяная залежь обладает волокнистым каркасом, имеющим сцепление между отдельными агрегатами и ассоциатами, что обуславливает определенную несущую способность торфяной залежи. В целом состояние участка достаточно типично для выработанного торфяника, где исключено дальнейшее сельскохозяйственное и лесохозяйственное его использование.

Установлено, что для работы на торфяной залежи, подстилаемой органическим сапропелем, технологического оборудования по добыче сапропеля с использованием экскаваторной или тракторной техники ее мощность должна быть не менее 1,4 м [11]. При работе экскаватора на торфяной залежи, подстилаемой карбонатным сапропелем, слой торфа для приемлемой проходимости машин может составлять 0,5-0,7 м. Для залежей сапропеля другого состава норма осушения перекрывающего торфа должна быть 0,8-1,0 м. Влажность верхнего слоя торфа для надежной проходимости оборудования должна быть не более 78 %, а предельное напряжение сдвига торфа в поверхностном слое на глубине 0,0-0,25 м больше 20 кПа. Данные показатели по проходимости оборудования по торфяной залежи с подстилающим сапропелем заложены в критерии выбора технологий разработки торфоподстилающего сапропеля.

Для скважинного способа добычи с технологическим оборудованием значительно меньшей массы, норма осушения может составлять 0,2-0,6 м, минимальная мощность оставшегося слоя торфа – 0,4 м, а максимальная зависит от длины шнека бурового оборудования и обычно составляет около 2 м. Средняя влажность торфа на поверхности залежи и общая мощность торфа и сапропеля для скважинного способа не лимитируются.

Размещенное на участке испытаний добывающее оборудование не требует прочного основания, а мобильная трубопроводная система из гибких труб позволяет выборочно подходить к размещению оборудования и скважин.

Проведенные на опытном участке предварительные испытания показали возможность скважинной гидродобычи торфоподстилающего сапропеля. По сравнению с известными технологиями разработки способ более экологичен, практически не нарушает сложившееся гидрологическое и биосферное равновесие на заболоченной территории и на 80 % сохраняет древесно-кустарничковый и моховой ярусы болотной растительности. Ввиду отсутствия дополнительного осушения торфяной залежи практически не происходит увеличения эмиссии парниковых газов, полностью предотвращается опасность возникновения торфяных пожаров на стадии добычи сапропеля и после нее.

Таким образом, рекультивация торфяных месторождений требует комплексного подхода. Предлагаемый новый способ гидродобычи сапропеля может занять собственную нишу среди направлений хозяйственного использования выбывших из эксплуатации торфяных участков.

Библиографические ссылки

1. *Курзо Б. В.* Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Минск : Бел. наука, 2005.

2. *Гайдукевич О. М., Курзо Б. В., Кунцевич В. Б., Кляуззе И. В., Макаренко Т. И., Ворона М. В., Татков А. Ю., Сорокин А. И.* Результаты научных и прикладных исследований в области генезиса, оценки ресурсов, добычи и переработки торфа и сапропеля // Природопользование. 2022. № 2. С. 33–52.

3. *Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В., Гринчик Е. Н.* Сопоставительный анализ ресурсов и типологического состава сапропеля озер и торфяных месторождений на территории Беларуси // Природопользование, 2005. Вып. 11. С. 232–238.

4. *Ратникова О. Н., Лисицына И. П., Борш А. Т.* Оценка возможных направлений использования выработанного участка торфяного месторождения Усяж (Минская область) // Природопользование. 2021. № 2. С. 38–47.

5. *Бамбалов Н. Н., Ракович В. А.* Роль болот в биосфере. Минск : Бел. Наука, 2005.

6. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / В. Ж. Аренс [и др.]. М. : Горная книга, 2007.

7. *Косов В. И., Золотухин А. П.* От геоэкологии до нанотехнологий. Композитные строительные и топливно-энергетические материалы из органогенных горных пород и отходов. СПб., 2010.

8. *Штин С. М.* Гидромеханизированная технология разработки торфо-сапропелевых месторождений с получением органо-минеральных удобрений и биотоплива / ГИАБ. Вып. № 1. Гидромеханизация. М. : Горная книга, 2009.

9. *Добрецов В. Б., Лигоцкий Д. Н., Зайцев В. А.* Гидромеханизированная разработка донных озерных отложений / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб., 1995.

10. *Богатов Б. А., Войтенко В. С., Киреев А. М.* Перспективы скважинной добычи полезных ископаемых в Беларуси. Минск : Технопринт, 2004.

11. Временные рекомендации по технологии добычи залегающего под торфом сапропеля экскаваторным способом / А. И. Федотов [и др.]. Минск, 1989.

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СКОРОСТЬ ОЖИВЛЕНИЯ АНТАРКТИЧЕСКИХ ТИХОХОДОК (TARDIGRADE) В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Н. С. Гайдучёнок[1)], Ю. Г. Гигиняк[2)], Е. В. Корзун[2)]

[1)] Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, gayduchenokns@gmail.com
[2)] Государственное научно-производственное объединение "Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам" ул. Академическая 27, 220072, г. Минск, Беларусь, zoology@biobel.by

В период проведения 14-16-й Белорусской антарктической экспедиции были проведены эксперименты в установках, принятых обозначать как камеры с открытым верхом (Open Top Chamber – OTC). Все установки OTC были расположены на моховых биотопах с различной степенью удаления от Белорусской антарктической станции «Гора Вечерняя» и с разной степенью развития. Одной из задач было выявить какое влияние оказывает возможное изменение климата на микробеспозвоночных обитающих в наземных биотопах Восточной Антарктиды.

Ключевые слова: Антарктида; климат; наземные экосистемы; адаптации; прокариоты; микробеспозвоночные.

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND REVIVAL RATE OF ANTARCTIC TARDIGRADES (TARDIGRADE) IN THE EXPERIMENT.

N. S. Gayduchenok[1)], Y. G. Giginyak[2)], E. V. Korzun[2)]

[1)] International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, gayduchenokns@gmail.com
[2)] State Scientific and Production Association «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources», 27 Akademicheskaya Street, 220072, Minsk, Belarus, zoology@biobel.by

During the 14th-16th Belarusian Antarctic Expeditions, experiments were carried out in installations commonly referred to as Open Top Chamber (OTC). All GPV facilities were located in moss biotopes with different degrees of distance from the Belarusian Antarctic station «Vechernyaya Mountain» and with different degrees of development. One of the tasks was to identify the impact of possible climate change on microinvertebrates living in terrestrial biotopes of East Antarctica.

Keywords: Antarctica; climate; terrestrial ecosystems; adaptations; prokaryotes; microinvertebrates.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-25-29

Несмотря на то, что видовой состав антарктической флоры или крайне беден, а места ее обитания строго ограничены в пространстве, микроценозы, формирующиеся в ассоциации с растительностью, напротив, богаты и разнообразны.

Эти сообщества состоят из нескольких групп микроскопических беспозвоночных (тихоходки Tardigrada, коловратки подкласса Bdelloidea, нематоды Nematoda), а также различных бактериальных групп, наибольший интерес из которых представляют обитающие непосредственно в растениях (эндофитные организмы) и населяющие верхние слои грунта в районе корневых и ризоидных систем (ризосферные организмы).

Несмотря на ряд работ, посвященных особенностям формирования и функционирования наземных биоценозов, широкий круг проблемных вопросов остается нераскрытым.

Во мху, как в Арктике, так и в Антарктике, обитают большое количество видов тихоходок (тихоходки (лат. Tardigrada) – тип микроскопических беспозвоночных, близкий к членистоногим). В отличие от пресноводных tardigrades, промежуточные виды eutardigrades, живущие в почвах, характеризуются очень короткими ногами с маленькими когтями и сокращенными или вообще без задних когтей.

Для типично почвенных тихоходок, необходимо чтобы среда обитания была достаточно проветриваемая (tardigrades чувствительны к низким кислородным условиям), а также с хорошими пищевыми условиями.

Известно, что тихоходки обладают высокой живучестью и способны переносить сильное переохлаждение. При наступлении неблагоприятных условий они способны на годы впадать в состояние анабиоза, а при наступлении благоприятных условий – достаточно быстро оживать (Рис.1).

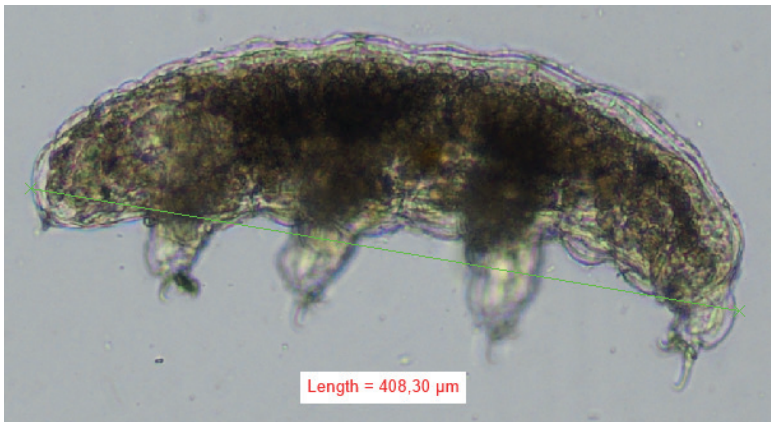


Рис.1. Фото tardigrade общим планом

Тем не менее, несмотря на способность тихоходок десятки лет находиться в состоянии анабиоза, активная жизнь тихоходок не велика и обычно колеблется от трех-четырех месяцев, до двух лет у разных видов. Выживают тихоходки в основном за счёт так называемого ангидробиоза, высушивания.

Также Tardigrade могут откладывать яйца в специальную структуру- Exuvium (Рис.2).

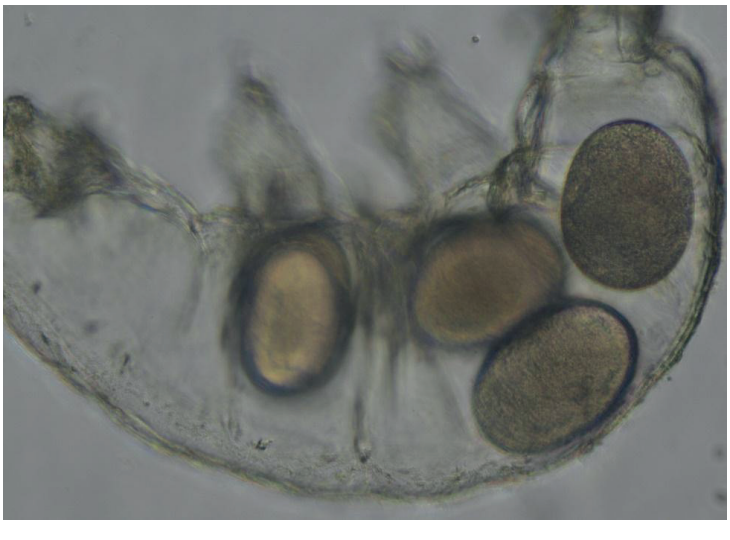


Рис.2. Exuvium с яйцами tardigrade

При высыхании они втягивают в тело конечности, уменьшаются в объёме и принимают форму бочонка. Поверхность покрывается восковой оболочкой, препятствующей испарению.

При анабиозе их метаболизм падает до 0,01 %, а содержание воды способно доходить до 1 % от нормального.

Нами были проведены серии экспериментов с целью выявить скорость оживления антарктических тихоходок и их возможность к дальнейшему существованию после их длительного замораживания при – 18оС (до 2 лет).

Материалом для исследований послужили сборы почв и мхов из экспериментов с установками ОТС с обитающими в них микробеспозвоночными, в том числе и тихоходками.

Отдельные образцы мхов из экспериментальных установок замораживались на месте (в Антарктиде) и хранились в таком виде до Минска. Здесь образцы мха определённой навески помещали в воду с комнатной температурой, размораживались и проводили изъятие тихоходок и других беспозвоночных.

Наблюдение вели под бинокуляром. Из навески отбирали группу ещё бездвижных тихоходок и засекали время в течение которого они оживали. В ходе проведения эксперимента с ОТС были получены результаты по количественным и качественным характеристикам основных групп микробеспозвоночных изучаемых биоценозов.

Наибольшее разнообразие микробеспозвоночных было характерно для водорослевых, моховых и смешанных биоценозов.

Используемые ОТС (рис.3) выполняют функции оранжерей, эффект которых заключается в изменении температуры и силы света внутри этих камер в течение определённого времени на фиксируемой площади мхов по сравнению с контролем, т.е. вне ОТС.

Рис. 3. Обшитый плёнкой каркас ОТС в месте постановки эксперимента в период наличия снега

Основной группой животных, обнаруженных в исследованных субстратах были тихоходки. Их количество во мху составляло сотни и даже тысячи особей в 1 г субстрата. Так же в этих пробах обнаружены коловратки, но они в экспериментах не использовались.

Показано, что тихоходки способны оживать после размораживания уже через 9 минут, при температуре около 22-25оС. В проведенных экспериментах процесс оживления был максимален в пределах 35 минут.

Скорость оживления тихоходок в различных пробах сильно варьировалась. Так, в одних пробах тихоходки оживали спустя 9 минут эксперимента, в других же могли начать оживать только с 30-й минуты с начала эксперимента, и такие различия могут быть связаны с разным видовым разнообразием.

Образец мха из установки ОТС-5 (контроль,05.02.2024) был заморожен при температуре –18°С в течение 6 месяцев, а затем перенесён в температуру –65°С (в течение 7 суток). После оттаивания образца (мха при –65оС) тихоходки, коловратки и нематоды начали оживать уже через 6-7 минут.

В дальнейшем, эксперименты с замораживанием при –65°С были продолжены. Было взято еще несколько проб мха, грунта, водорослей, и они были помещены в –65°С.

Данные пробы были взяты при проведении 16 БАЭ. Многие пробы были взяты не только из экспериментальных ОТС, но и с других – биотопов.

Результаты этих экспериментов были проанализированы и помещены в единую диаграмму (рис.4).

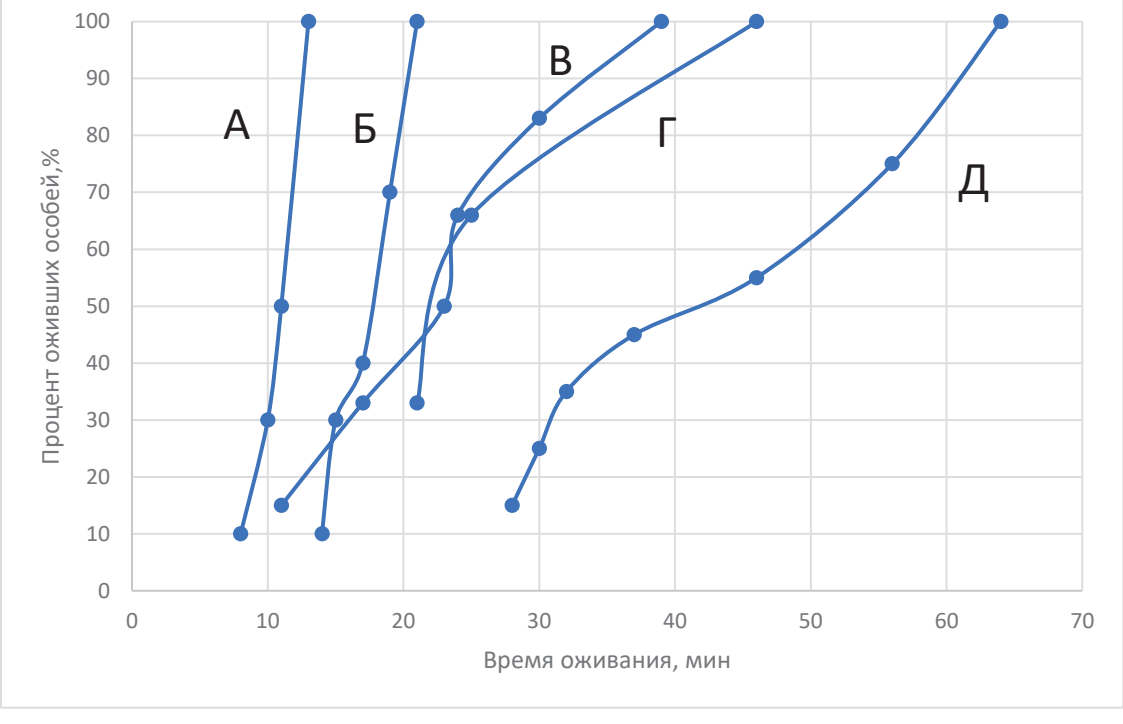


Рис.4. Динамика скорости оживления особей тихоходок в эксперименте при -65°С (**А**-НФ 23.01.24 16 БАЭ-НФ-1; **Б**- ОТС-5 контроль. 23.01.2024; **В**-07.02.22 ОТС-2 контроль, **Г**-05.08.2024 16 БАЭ; **Д**- ОТС-5 16 БАЭ)

На данном графике видно, как отличается скорость оживания тихоходок в эксперименте. Диапазон времени, в течение которого тихоходки оживали, составил от 9 минут до 60 минут, что может быть связано с разным видовым составом и биотопической приуроченностью (местом, откуда были отобраны пробы).

Также можно отметить, что после заморозки при -65°С, тихоходки довольно быстро оживали и оставались подвижными долгое время, что указывает на их сверхадаптационные возможности, позволяющие им в Антарктиде переносить резкие колебания температуры и обеспечивать существование в таких экстремальных условиях.

Библиографические ссылки

1. *Avalos J., Limón M. C.* Biological roles of fungal carotenoids // Current Genetics. 2015. V. 61. iss. 3. P. 309-324.

2. Psychrophilic yeasts from worldwide glacial habitats: diversity, adaptation strategies and biotechnological potential / Buzzini P. [et al.] // FEMS microbiology ecology. 2012. V. 82. iss. 2. P. 217-241.

3. Dioszegia antarctica sp. nov. and Dioszegia cryoxerica sp. nov., psychrophilic basidiomycetous yeasts from polar desert soils in Antarctica / Connell L. B. [et al.] // International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2010. V. 60. iss. 6. P. 1466-1472.

4. *Convey P.* Terrestrial biodiversity in Antarctica – Recent advantages and future challenges // Polar Science. 2010. V. 4. iss. 2. P. 135–147.

5. The spatial structure of Antarctic biodiversity / Convey P. [et al.] // Ecological Monographs 2014. V. 84. P. 203–244.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ И НИТРАТОВ В ПОЧВАХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

С. Е. Головатый[1)], **С. В. Савченко**[2)], **М. Л. Синицкая**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, sscience@yandex.ru*
[2)] *Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь*

Представлен анализ динамики содержания нитратов и сульфатов в почвах фоновых территорий и населенных пунктов Республики Беларусь за период с 2000 по 2023 годы. Для фоновых территорий средняя концентрация сульфатов составила 52,53 мг/кг, а нитратов – 19,96 мг/кг. Для почв населенных пунктов коэффициенты концентрации сульфатов варьирует в пределах 1,05-1,48, в то время как для нитратов – от 0,74 до 1,80. За исследуемый период содержание нитратов в почвах имеет тенденцию к снижению, а сульфатов – к росту. Установлено, что превышение ПДК в исследованных почвах было зафиксировано в 26,2 % случаев для сульфатов и в 1,4 % для нитратов.

Ключевые слова: почвы; сульфаты; нитраты; городские территории; загрязнение; предельно допустимая концентрация; фоновое содержание; пороговое значение.

ANALYSIS OF CONTENT OF SULFATES AND NITRATES IN SOILS OF SETTLEMENTS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

S. E. Golovaty[1)], **S. V. Savchenko**[2)], **M. L. Sinitskaya**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, sscience@yandex.ru*
[2)] *State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy Sciences of Belarus», Minsk, Belarus*

The analysis of the dynamics of nitrate and sulphate content in soils of background territories and settlements of the Republic of Belarus for the period from 2000 to 2023 is presented. In background territories, the average concentration of sulphates was 52.53 mg/kg, while that of nitrates – 19.96 mg/kg. For the soils of the settlements, the concentration ratios of sulphates ranged from 1.05 to 1.48, while for nitrates they ranged from 0.74 to 1.80. During the study period the nitrate content in soils tends to decrease, and sulphates tend to increase. It was found that exceedance of MPC in the studied soils was recorded in 26.2 % of cases for sulphates and in 1.4 % for nitrates.

Keywords: soils; sulfates; nitrates; urban areas; pollution; maximum permissible concentration; background content; threshold value.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-30-34

Круговороты азота и серы являются критически важными для поддержания экосистемной устойчивости и жизнедеятельности организмов. Азот, входящий в состав аминокислот и нуклеиновых кислот, играет ключевую роль в росте растений и животных. Сера также необходима для синтеза белков и витаминов, участвуя в образовании ферментов. Эти элементы циркулируют в природе через биогеохимические процессы, обеспечивая баланс в экосистемах.

Естественными источниками азота служат вулканы и молнии, а серы – вулканы, лесные пожары и морские брызги. Антропогенные источники включают удобрения, сжигание ископаемого топлива и выбросы от различных отраслей промышленности [1].

Круговорот азота включает несколько стадий: азотфиксацию, где атмосферный молекулярный азот (N_2) преобразуется в аммиак (NH_3), аммонификацию, в ходе которой органический азот превращается в аммоний (NH_4^+), и нитрификацию, где аммоний окисляется до нитратов (NO_3^-). Растения усваивают нитраты в процессе ассимиляции, что ведет к синтезу аминокислот и белков, а затем происходит денитрификация, восстанавливающая нитраты до атмосферного азота (N_2).

Круговорот серы начинается с окисления серы (S) в сульфаты (SO_4^{2-}) через действия микроорганизмов. Затем сульфаты усваиваются растениями для синтеза органических соединений, включая аминокислоты. Завершается цикл минерализацией, при которой органические соединения освобождают сульфаты, возвращая их в экосистему [1].

Несмотря на значимость нитратов и сульфатов для роста растений, их избыток может вызывать серьезные экологические проблемы. Высокие концентрации нитратов приводят к эвтрофикации водоемов, что вызывает бурный рост водорослей и уменьшение содержания кислорода в воде, угрожая жизни водных организмов. Сульфаты, в свою очередь, могут способствовать образованию кислотных дождей, негативно влияя на почву и водные ресурсы, что ведет к ухудшению условий для роста растений и потере биоразнообразия.

В Республике Беларусь для регулирования содержания химических веществ в почве применяются гигиенические и экологические нормативы. Гигиенические нормативы определяют предельно допустимые концентрации (ПДК) для нитратов и сульфатов, что позволяет минимизировать их негативное влияние на экосистему и здоровье человека [2]. Экологические нормативы, такие как ЭкоНиП 17.03.01-001-2021, учитывают различные факторы, такие как тип почвы и агроклиматические условия, что способствует более эффективному управлению качеством почвы и предотвращению загрязнения [3]. На сегодняшний день дифференцированные нормативы используются в Национальной системе мониторинга окружающей среды (НСМОС) в рамках локального мониторинга. Однако для мониторинга почв продолжает применяться оценка по ПДК и ОДК.

В таблице 1 представлены значения нормативов содержания сульфатов и нитратов в почве населенных пунктов [2; 3]. Нормативы предельно допустимых концентраций нитратов и сульфатов в почвах значительно отличаются от разработанных дифференцированных нормативов. В частности, значения ПДК для нитратов (130 мг/кг) и сульфатов (160 мг/кг) оказываются ниже пороговых значений, установленных для низкой степени загрязнения песчаной почвы.

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации и пороговые значения содержания сульфатов и нитратов в почвах (грунтах) населенных пунктов [2; 3]

Норматив	Степень загрязнения	Почва (грунт)	Нитраты, мг/кг	Сульфаты, мг/кг
ПДК			130	160
Пороговые значения содержания химических веществ группы 1 в почвах земель населенных пунктов	Низкая	Песчаная	136	214
		Супесчаная	210	330
		Суглинистая	259	408
	Средняя	Песчаная	678	1070
		Супесчаная	1050	1650
		Суглинистая	1290	2040
	Высокая	Песчаная	2710	4270
		Супесчаная	4190	6600
		Суглинистая	5180	8150
	Очень высокая	Песчаная	6780	10700
		Супесчаная	10500	16500
		Суглинистая	12900	20400

Для экологической оценки загрязнения почв населенных пунктов Республики Беларусь был применен коэффициент концентраций:

$$К_с = \frac{С_i}{С_{фон}},$$

где $С_i$ – фактическое содержание элемента; $С_{фон}$ – геохимический фон.

В качестве фона для оценки загрязнения почв урбанизированных территорий были использованы данные Национальной системы мониторинга окружающей среды для фоновых территорий в разрезе 2000-2023 гг., значения приведены в таблице 2 [4]. Анализ представленных данных показал, что превышений ПДК для нитратов и сульфатов в почвах фоновых территорий не наблюдается ни в одной из областей. Наибольшая концентрация сульфатов зафиксирована в Брестской области (56,83 мг/кг), а нитратов в Витебской области (23,74 мг/кг).

Таблица 2

Содержание нитратов и сульфатов в почвах фоновых территорий административных областей Республики Беларусь по данным 2000-2023 гг.

Административная область	Среднее содержание SO_4, мг/кг	Среднее содержание NO_3, мг/кг
Брестская	56,83	22,25
Витебская	54,78	23,74
Гомельская	53,71	18,30
Гродненская	48,18	18,08
Минская	49,33	17,32
Могилевская	52,51	20,43
Среднее по Республике	**52,53**	**19,96**

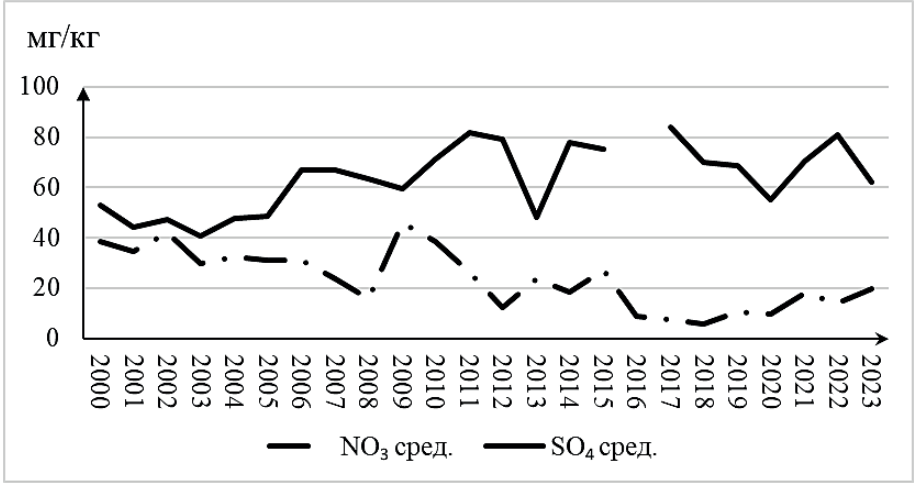
Так же были проанализированы данные НСМОС о концентрациях нитратов и сульфатов в почве населенных пунктов республики с 2000 по 2023 годы, представленные в экологических бюллетенях «Состояние природной среды Беларуси» и Результатах наблюдений НСОМС [4]. За весь этот период были обследованы 51 населённый пункт и проведено 212 измерений.

На 2024 год мониторинг почв осуществляется на территории 34 населенных пунктов, что включает 1056 пунктов наблюдения. С периодичностью 1 раз в 5 лет осуществляется отбор 15–40 проб почвы в год. В ходе наблюдений определяются различные химические параметры почв: тяжелые металлы, сульфаты, нитраты, нефтепродукты, кислотность/основность почвы и другие [5]. В Гомельской области находится 7 городов, в которых производится мониторинг. В Брестской, Гродненской и Минской по 6 городов, в Витебской 5 и Могилевской 4 города.

Обор проб производится согласно «Инструкции о порядке проведения наблюдений за химическим загрязнением земель». Определение химических веществ в отобранных почвенных образцах проводится в аккредитованных лабораториях и центрах.

На рисунке 1 представлены графики изменения среднего содержания нитратов и сульфатов в почве населенных пунктов по областям Республики Беларусь. В 2016 году отсутствуют данные по содержанию сульфатов в почве. Исследования показывают, что средняя концентрация нитратов в исследуемых почвах за рассмотренный период имеют тренд к снижению. Максимальное значение зафиксировано в 2009 г. и составило 45,95 мг/кг, а минимальное в 2018 г. – 5,63 мг/кг. Обратная зависимость наблюдается в отношении сульфатов.

Установлено, средние концентрации сульфатов в почвах имеют тенденцию к увеличению с 2000 г. по 2023 г. Максимум за данный период был установлен в 2017 г. 83,94 мг/кг, а минимум в 2003 г. 40,52 мг/кг.



Динамика содержания нитратов и сульфатов в почве населенных пунктов Республики Беларусь за 2000-2023 гг.

В таблице 3 представлены значения коэффициента концентраций для областей Республики Беларусь. Коэффициенты концентрации сульфатов варьируют от 1,05 в Гомельской области до 1,48 в Гродненской области. Среднее значение по республике составляет 1,19, что указывает на относительно невысокие уровни сульфатов в почвах населенных пунктах относительно фоновых территорий. Коэффициенты концентрации нитратов имеют более выраженные различия, с минимальным значением 0,74 в Брестской области и максимальным значением 1,80 в Гродненской области. Среднее значение по республике составляет 1,26. Высокие коэффициенты установлены для Гомельской (1,64), Гродненской (1,80) и Минской (1,79) областей. Минимальные значения этого показателя (менее 1,0) выявлены для почв населенных пунктов Брестской (0,74) и Могилевской (0,78) областей.

Таблица 3

Коэффициенты концентраций сульфатов и нитратов в почве населенных пунктов для областей Республики Беларусь за 2000-2023 гг.

Административная область	Кс для SO_4	Кс для NO_3
Брестская	1,09	0,74
Витебская	1,18	1,15
Гомельская	1,05	1,64
Гродненская	1,48	1,80
Минская	1,26	1,79
Могилевская	1,21	0,78
Среднее по Республике	1,19	1,26

Анализ максимальных концентраций сульфатов и нитратов в почвах населенных пунктов Республики Беларусь за исследуемый период показал, что было зафиксировано превышение ПДК в 26,2 % случаев для сульфатов и в 1,4 % случаев для нитратов. Так, максимальная концентрация сульфатов зафиксированная за весь период обследования составляет 487,0 мг/кг в Новополоцке в 2021 году. Это значение превышает ПДК в 3 раза. Максимальная концентра-

ция нитратов была зафиксирована в 2004 году в городах Светлогорск и Лида и она составила 200 мг/кг, что превышает ПДК в 1,5 раза.

Таким образом, в ходе исследования установлено, что средние концентрации нитратов и сульфатов в почвах фоновых территорий Республики Беларусь за период с 2000 по 2023 годы не превышали предельно допустимых концентраций. Максимальная концентрация сульфатов в почвах этих территорий составила 56,83 мг/кг в Брестской области, максимальное содержание нитратов достигло значений 23,74 мг/кг в Витебской области. Установлено, что содержание нитратов в почвах населенных пунктов за анализируемый период имеет тенденцию к снижению, а сульфатов к увеличению.

Коэффициенты концентрации сульфатов в почвах городов варьируют от 1,05 до 1,48, в то время как этот показатель относительно нитратов был в пределах 0,74-1,80. Зафиксировано превышение ПДК для сульфатов в почвах этих территорий в 26,2 % исследуемых образцов, для нитратов – в 1,4 %.

Библиографические ссылки

1. *Толпешта И. И.* Методологические подходы к расчету критических нагрузок на экосистемы соединений азота и серы: учебно-методическое пособие. Тула, 2014.

2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 «Об утверждении гигиенических нормативов» [Электронный ресурс] // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037. (дата обращения: 16.02.2025.)

3. ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению»

4. Мониторинг земель [Электронный ресурс] // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. URL: https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-zemel#block-views-block-publikacii-block-2. (дата обращения: 11.02.2025.)

5. *Смыкович Л. И.* Кадастр и мониторинг земель: краткий курс лекций: в 2 ч. Минск., 2023.

РЕГИСТРАЦИИ ПОЛЧКА (GLIS GLIS) В ИСКУССТВЕННЫХ ГНЕЗДОВЬЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А. С. Горегляд[1)], **В. Т. Демянчик**[2)]

[1)] *Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, бульвар Космонавтов, 21, г. Брест, Беларусь, goregladanna59@gmail.com*
[2)] *Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, ул. Советских Пограничников, 41, г. Брест, Беларусь, koktebel.by@mail.ru*

Соня-полчок (Glis glis) – редкий вид, занесенный в Красную книгу Республики Беларусь. Широко распространен в Полесье, встречается при осмотре дуплянок. Размещение искусственных гнездовий способствует обнаружению вида в конкретных местообитаниях. При этом обеспечивает животных необходимыми убежищами и ведет к увеличению численности популяций. Обнаружение полчка в гнездовьях способствует менее затратным способом изучать особенности физиологии, экологии и этологии вида. Анализ собранных данных позволяет устанавливать влияние различных факторов на состояние популяций полчка в Полесье.

Ключевые слова: соня; полчок; Glis glis; животные; искусственные гнездовья; домики; Белорусское Полесье.

REGISTRATIONS OF GLIS GLIS IN ARTIFICIAL NESTS OF CENTRAL PART OF BELARUSIAN POLESIE

A. S. Goreglyad[1)], **V. T. Demyanchik**[2)]

[1)] *Brest State University named after A.S. Pushkin, Kosmonavtov Boulevard, 21, Brest, Belarus*
[2)] *Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Sovetskikh Pogranichnikov Street, 41, Brest, Belarus*

The dormouse is a rare species listed in the Red Book of the Republic of Belarus. It is widespread in Polesie and can be found during inspection of nest boxes. The placement of artificial nests helps to detect the specific habitats. At the same time, it provides animals with the necessary shelters and leads to an increase in population numbers. Detection of the dormouse in nests helps to study the physiological, ecological and ethological features of the species in a less expensive way. Analysis of the collected data allows us to establish the influence of various factors on the state of the dormouse populations in Polesie.

Keywords: dormouse; polchok; Glis glis; animals; artificial nests; houses; Belarusian Polesie.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-35-39

Соня-полчок *(Glis glis)* является самым крупным представителем семейства Соневых *(Myoxidae)* Беларуси. Полчок – редкий вид, включен в 3-е издание Красной книги Республики Беларусь и имеет III категорию охраны. Вид включен в Приложение III к Бернской конвенции [1]. На территории Беларуси встречается преимущественно по югу и западу. Из всех сонь полчок наиболее привязан к широколиственным и смешанно-широколиственным лесам. Необходимым является наличие развитого подлеска так как вид в основном растительнояден и дуплистых деревьев, которые используются в качестве дневных убежищ [2]. Активно использует в своих целях искусственные гнездовья, развешенные для птиц-дуплогнездников, а также специальные гнездовья для сонь.

Соня-полчок сравнительно обычна в Полесье, где нередко попадается в лесных строениях и при осмотре дуплянок [3]. Поэтому регистрация особей в искусственных гнездовьях не является новой информацией, а лишь подтверждает наличие и позволяет собрать информацию о региональных особенностях этого краснокнижного вида животных в Пинском районе [4].

Цель исследования – обобщение результатов встреч полчков в различных типах искусственных гнездовий для птиц на территории Пинского района.

Материалы и методы. Материалом для данной работы послужили результаты полевых наблюдений в течении 2020-2024 гг. за различными видами позвоночных животных, встречающихся в искусственных гнездовьях для птиц, установленных в Пинском районе.

Регистрации пребывания полчков отмечалась в искусственных гнездовьях, расположенных в лесном массиве восточнее аг. Сошно Пинского района. Древостой в этой местности представлен ольхой черной (*Alnus glutinosa*), дубом черешчатым (*Quercus robur*), тополем дрожащим (*Populus tremula*), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*). В подлеске доминирует черемуха обыкновенная (*Prunus padus*), крушина слабительная (*Rhamnus cathartica*), также встречаются лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), груша обыкновенная (*Pyrus communis*), яблоня дикая (*Malus sylvestris*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*) (рис. 1).

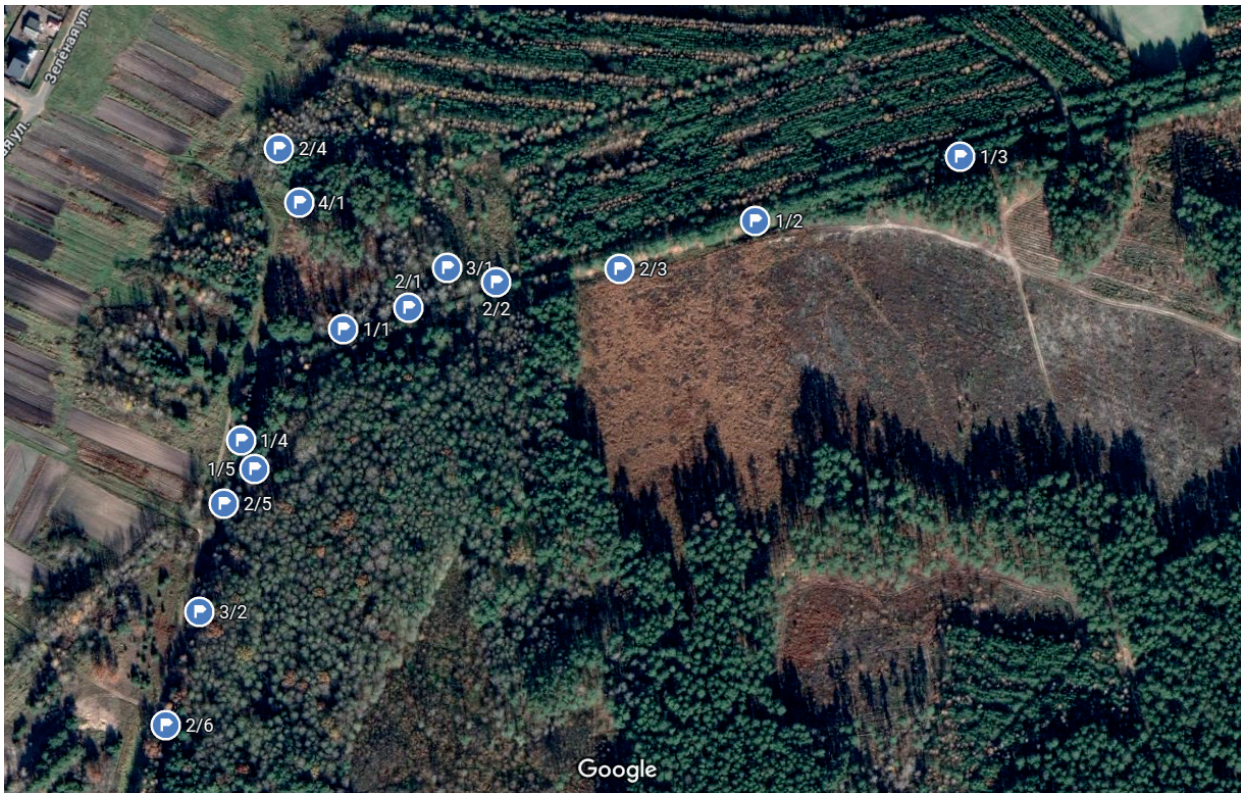


Рис. 1. Фрагмент местности с программы «Google Карта» (масштаб 1:200) с точками расположения искусственных гнездовий в Пинском районе

В числителе тип гнездовья: 1 синичник для большой синицы; 2 синичник для мелких синиц; 3 гнездовье для пищухи; 4 скворечник. В знаменателе номера гнездовий

Результаты и обсуждение.

Заселение полчком гнездовий. Жизнедеятельность полчков была отмечена в 15 искусственных гнездовьях 4 типов: 5 дощатых синичниках для большой синицы (рис. 2), 6 для мелких синиц, 3 гнездовьях для пищухи, 1 скворечнике. Гнездовья устанавливались на стволах сосны, ольхи, осины и дуба в течении 2020-2024 гг. на высоте от 125 до 730 см. Гнездовья предназначались для мелких птиц и имели классические параметры, указанные в литературных источниках [5].

Из всех 15 гнездовий в 11 следы жизнедеятельности полчков были отмечены в первый год установки, в 2 гнездовьях во второй, в 1 – в третий и в 1 – в четвертый год. Востребованность домиков в первый год после их размещения может говорить о недостатке естественных убе-

жищ. А использование гнездовий, установленных и не имевших спроса в течении нескольких лет – об увеличении численности популяции и расширении территории обитания в конкретном участке лесного массива. Особи полчка регистрировались в искусственных гнездовьях в июне-сентябре. Более 70 % регистраций относились к июлю-августу.

Рис. 2. Типичное искусственное гнездовье для большой синицы, которое сравнительно часто посещали особи полчка (13.10.2024 г.)

Следы жизнедеятельности полчков. Регистрация пребывания полчка в искусственных гнездовьях осуществлялась путем непосредственного осмотра гнездовий. При этом были выделены некоторые характерные следы, оставляемые полчком в ходе своей жизнедеятельности, по которым можно было судить о пребывании этого вида в гнездовье даже без регистрации особей. В синичниках для мелких синиц, имевших небольшой диаметр летка, около 3 см, он расширялся путем разгрызания зубами. При этом на древесине вокруг летка как внутри, так и снаружи оставались следы от зубов, а внутри гнездовья скапливались стружки. Иногда, видимо, в гнездовьях с недостаточной площадью дна внутренние стенки и дно также могли разгрызаться. На крышке домиков животные оставляли оформленный помет довольно крупных размеров коричневого или черного цвета, в зависимости от используемой пищи. Помет в большом количестве накапливался внутри гнездовий. Помет, оставленный молодыми особями, имел черный цвет, вязкую консистенцию и сильно пачкал стенки домиков. В качестве подстилки для гнезда использовались преимущественно листья древесных растений. Чаще всего встречались листья груши, ольхи, дуба, осины. Также внутри домиков иногда в большом количестве находились волокна шерсти.

Использование полчком искусственных гнездовий. Всего в течении 5 полевых сезонов было отмечено 40 случаев использования полчком искусственных гнездовий (таблица). В 8 случаях непосредственно особи полчка не были зарегистрированы. Но по характеру следов жизнедеятельности, упомянутых ранее, мы сделали вывод о пребывании в домиках именно этого вида.

Данные по использованию полчком искусственных гнездовий

Год	Общее число гнездовий со следами пребывания полчка	Число гнездовий со следами пребывания без регистрации особей	Число гнездовий, используемых в качестве дневных убежишь	Число гнездовий, используемых для выведения потомства	Число детенышей (min-max)
2020	2	-	-	2	4-6
2021	7	3	2	2	1-3
2022	9	2	-	7	2-6
2023	11	3	2	6	1-4
2024	11	-	7	4	1-6
Всего	40	8	11	21	1-6

В большинстве же случаев удавалось встретить самих животных. При этом были отмечены 2 варианта использования гнездовий полчком: в качестве дневок, выведения потомства. В 11 случаях взрослые особи в течении сезона регистрировались только на дневках чаще по 1-2 особи в одном домике. При этом дно могло как выстилаться листьями, т. е. сооружалось небольшое гнездо, так и не выстилаться. В таких случаях в качестве подстилки выступали гнезда птиц, использующих это гнездовье ранее. При одном из осмотров 06.07.2021 г. в одном искусственном гнездовье была встречена групповая дневка 3 взрослых особей, возможно, являвшихся потомством прошлого года, не участвующих в размножении. Как детеныши того сезона размножения отмеченные особи не рассматриваются, т. к. при осмотре этого же гнездовья 12-тью днями ранее была отмечена только 1 взрослая особь.

Пребывание взрослых особей полчка с целью выведения потомства в летне-осенний период отмечено в 21 случае. До появления детенышей обычно сооружалось гнездо, занимающее больше половины внутреннего пространства домиков. Гнезда с новорожденными обычно содержало большое количество свежих листьев древесных пород, упомянутых ранее. Плодовитость сони-полчок – от 1 до 10 детенышей [3]. В ходе проведенных наблюдений встречались выводки, содержащие от 1 до 6 особей (рис. 3), чаще 3-4.

Рис. 3. Выводок полчка в синичнике для большой синицы (13.09.2020 г.)

При анализе данных по использованию различных типов гнездовий сонями было замечено, что выращивание потомства обычно происходит в более просторных гнездовьях с доста-

точной площадью дна, т. е. в синичниках как для больших, так и мелких синиц. В небольших гнездовья для пищух, имеющих неклассические параметры, встречались только дневки взрослых единичных особей или же отмечались только следы пребывания.

Особенности поведения животных при осмотре гнездовий. Осмотр внутреннего содержимого искусственных гнездовий производился при снятии крышки (конструкционная особенность гнездовий, необходимая для проведения наблюдений за заселяемостью и последующей чистки гнездовий) [5]. При снятии крышки взрослые особи обычно издавали своеобразные “фыркающие” звуки, возможно, запугивания. При фотосъемке они на некоторое время могли замирать. Резкие движения при снятии крышки или другие резкие движения приводили к закапыванию особей в подстилку гнезда, сопровождающееся своеобразными звуками. Таким образом, наблюдателю была видна только спинная сторона и хвост. В гнездовьях с новорожденными при осмотре самки продолжали кормить детенышей, не делая никаких лишних движений. При осмотре гнездовий с достаточно крупным (многочисленным) потомством, они также под действием резких движений пытались спрятаться в подстилке гнезда. Только в одном случае уже крупный детеныш, имевший размеры приблизительно со взрослую особь, выбрался из гнезда при осмотре и поднялся по стволу дерева выше искусственного гнездовья. Таким образом, можно сказать, что полчок при беспокойстве в дневное время не покидает убежище, а пытается спрятаться при опасности непосредственно в нем.

Особенности фенологии, установленные в ходе наблюдения. Взрослые особи сони-полчок начинали массово регистрироваться в искусственных гнездовьях обычно с конца июня, когда у птиц-дуплогнездников, заселявших гнездовья, завершался первый цикл размножения. Наиболее ранняя регистрация двух взрослых особей была отмечена 6 июня 2021 г., в гнездовье, не используемом птицами весной того года. Начиная с конца июля взрослые полчки отмечались с потомством. При этом в 2022 году наблюдалось синхронное появление новорожденных детенышей 30 июля в 6 из 7 гнездовий, используемых для размножения в том сезоне. В 2023 г. в гнездовьях молодые особи начали отмечаться в более ранние сроки, и наблюдалось в различных домиках потомство разного возраста. Что может говорить о зависимости сроков размножения от хода весны и варьировании погоды летом. Обычно к концу августа молодые особи достигают размеров взрослых, отличаясь от них более светлой окраской шерсти. До конца сентября как взрослые особи на дневках, так и выводки продолжают встречаться в гнездовьях. Однако на зимовке полчки ни разу не встречались в искусственных гнездовьях, расположенных в окрестностях аг. Сошно.

Таким образом, в условиях центральной части Белорусского Полесья полчок сравнительно нередко регистрируется в искусственных гнездовьях, предназначенных для мелких воробьиных птиц. В искусственных домиках отмечались единичные особи и группы до 7 особей. Все встречи приурочены к июню-сентябрю. Более 70 % регистраций были приурочены к июлю-августу.

Библиографические ссылки

1. Красная книга Республики Беларусь. Животные : редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / гл. редкол.: И. М. Качановский (предс.), М. Е. Никифоров, В. И. Парфенов [и др]. 4-е изд. Минск : Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. С. 11-12.

2. *Гричик В. В., Бурко Л. Д.* Животный мир Беларуси. Позвоночные : учеб. пособие. Изд. центр БГУ, 2013. С. 358-359.

3. *Савицкий Б. П., Кучмель С. В., Бурко Л. Д.* Млекопитающие Беларуси. Изд. центр БГУ, 2005. С. 176-177.

4. *Демянчик В. Т., Семеняк А. М., Левый С. В.* и др. Соневые (Gliridae) биоиндикаторы уровня целостности и разнообразия зональных лесных сообществ Центрально и Западного Полесья // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий: Материалы Междунар. науч.-практ., Гомель, окт. 2000 г. Гомель, 2000. С. 42-43.

5. *Благосклонов К. Н.* Охрана и привлечение птиц. М. : Просвещение, 1972. С. 138-145.

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

С. А. Дубенок[1], **Е. А. Мороз**[2]

[1] *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, dubenok@bntu.by*
[2] *Общество с дополнительной ответственностью «ЭНЭКА», пр. Независимости, 177, 220125, г. Минск, Республика Беларусь, elizaveta.moroz@enecagroup.com*

Вопросы организации систем водоотведения в сельских населенных пунктах в Республике Беларусь приобретают все большую актуальность в последние десятилетия. Проблема организации систем водоотведения находится однвредеменно в технической, экономической и экологической плоскости, что требует скоординированных межведомственных подходов к этому вопросу в части проектирования, строительства, вопросов эксплуатации и соблюдения экологических требований при организации нецентрализованных (локальных) систем сбора и очистки сточных вод. В публикации рассматриваются возможности применения основных сооружений для очистки сточных вод в сельских населенных пунктах при отсутствии централизованных систем водоотведения.

Ключевые слова: система водоотведения; накопитель; выгреб; септик; канализационный колодец.

ORGANIZATION OF WATER DRAINAGE SYSTEMS IN RURAL SETTLEMENTS: PROBLEMS AND SOLUTIONS

S. A. Dubianok[1], **Y. A. Maroz**[1]

[1] *Belarusian National Technical University, 65 Nezavisimosti av., 220013, Minsk, Republic of Belarus, dubenok@bntu.by*
[2] *Additional Liability Company «ENECA», 177 Nezavisimosti av., 220125, Minsk, Republic of Belarus, elizaveta.moroz@enecagroup.com*

The issues of organizing wastewater disposal systems in rural areas in the Republic of Belarus have become increasingly important in recent decades. The problem of organizing wastewater disposal systems is simultaneous in the technical, economic and environmental plane, which requires coordinated interdepartmental approaches to this issue in terms of design, construction, operation issues and compliance with environmental requirements when organizing non-centralized (local) wastewater collection and treatment systems. The publication examines the possibilities of using the main structures for wastewater treatment in rural areas in the absence of centralized wastewater disposal systems.

Keywords: drainage system; storage tank; cesspool; septic tank; sewer well.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-40-44

В большинстве случаев в сельской населенной местности наблюдается сокращение численности населения, что делает строительство централизованных систем водоотведения (канализации) неактуальным и экономически невыгодным. Строительство сетей водоотведения (канализации) требует значительных финансовых вложений на этапе строительства и дальнейшего обслуживания, а снижение числа жителей приводит к уменьшению нагрузки на инфраструктуру, а значит, затраты на строительство и обслуживание таких систем становятся неоправданно высоким решением для сельских населенных пунктов.

В законодательстве большинства европейских стран закреплено, что граждане обязаны подключать систему водоотведения (канализации) с частной жилой застройки к коммунальным (муниципальным) системам канализации, где это технически возможно. Это привело

к тому, что большой процент населения оказался подключенным. Например, в Нидерландах 99 % населения подключено к централизованным системам, а 1 % имеет индивидуальную систему утилизации или очистки сточных вод, например, септик. В Германии уровень подключения частных домохозяйств к коммунальным (муниципальным) системам составляет 96 %, в Австрии – 95 %, в Польше – 70 %.

С учетом того, что XXI век можно назвать эпохой инноваций и устойчивого развития, широкое использование таких устаревших решений, как поля фильтрации, выгребные ямы, канализационные накопители и другие подобные сооружения, вызывает серьезную озабоченность. Данные сооружения наносят существенный вред окружающей среде, загрязняя почву и грунтовые воды, что противоречит принципам экологической устойчивости.

Несмотря на прогресс в области технологий и растущее внимание к вопросам экологии, во многих регионах, особенно в сельской местности, до сих пор применяются устаревшие методы водоотведения. Это подчеркивает необходимость внедрения современных, экологически безопасных решений, которые соответствуют вызовам современности и способствуют сохранению природных ресурсов. Таким образом, переход к более эффективным и экологичным системам становится не просто актуальным, а важным условием для реализации принципов устойчивого развития в XXI веке.

Актуальность данного вопроса отражена и принятом ООН в 2015 г. документе − «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», утвердившем 17 целей устойчивого развития (ЦУР), одна из которых – ЦУР 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех», комплексно в составе восьми задач призвана обеспечить устойчивое использование водных ресурсов планеты. Одной из задач ЦУР 6 является задача 6.2 – «К 2030 году обеспечить всеобщий и равноправный доступ к надлежащим санитарно-гигиеническим средствам и положить конец открытой дефекации, уделяя особое внимание потребностям женщин и девочек и лиц, находящихся в уязвимом положении». Очевидно, что на момент принятия этого глобального документа все страны находились в разных стартовых позициях, однако, каждая страна должна обеспечить прогресс в достижении данного показателя к 2030 г. по сравнению со своими стартовыми позициями на 2015 г. Для устойчивого достижения каждой страной основных задач ЦУР к 2030 г. и отслеживания прогресса по странам, на международном уровне рекомендовано включать те или иные задачи ЦУР в национальные программы и стратегии, а также формулировать национальные и региональные показатели для детализации состояния решения каждой задачи в отдельных регионах страны [1].

В Беларуси реализация задачи 6.2 ЦУР 6 осуществляется во взаимодействии Национального статистического комитета (Белстат) и Министерства жилищно-коммунального хозяйства (МЖКХ). В рамках этой задачи определен один национальный показатель, позволяющий оценивать прогресс её достижения, это показатель 6.2.1 «Доля населения, пользующегося услугами санитарии, организованной с соблюдением требований безопасности» [1; 2]. Значение показателя определяется как доля населения страны, использующего улучшенные санитарно-гигиенические устройства внутри своего домохозяйства, в общей численности населения. При этом, под улучшенными санитарно-гигиеническими устройствами понимаются – туалет со сливом внутри дома, соединенный с системой канализации, отстойником или выгребной ямой, а также благоустроенный уличный туалет с выгребной ямой.

Функция Белстата заключается в оценке доступа населения к услугам санитарии, организованных с соблюдением требований безопасности, которые изучаются Белстатом в рамках Многоиндикаторного кластерного обследования для оценки положения детей и женщин (МИКС). МИКС – международная программа обследования домашних хозяйств, разработанная Детским Фондом ООН (ЮНИСЕФ) с целью сбора статистически достоверных, сопостави-

мых на международном уровне показателей для мониторинга прогресса в достижении национальных целей и глобальных обязательств по ЦУР.

Республика Беларусь принимала участие в трех раундах МИКС: МИКС 3 в 2005 г., МИКС 4 в 2012 г. и МИКС 6 в 2019 г. С 2021 г. необходимые данные для формирования показателя формируются в рамках выборочного обследования домашних хозяйств по уровню жизни, которое проводится, начиная с 2021 г. 1 раз в 6 лет.

Выборочная совокупность домашних хозяйств, отобранных для опроса в рамках МИКС, является достаточной для получения репрезентативных данных на национальном уровне, в разрезе городской и сельской местности, а также по регионам. Генеральную совокупность при отборе составляет общее число проживающих в домашних хозяйствах (по данным последней переписи населения), за исключением коллективных домашних хозяйств (проживающие в домах-интернатах для престарелых, школах-интернатах и так далее), а также студентов, проживающих в общежитиях [3].

При этом, МЖКХ обеспечивает реализацию показателя 6.2.1 задачи 6.3 ЦУР 6 в рамках выполнения мероприятий задачи 2 подпрограммы 5 «Чистая вода»: обеспечение населения централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы. Динамика количественных показателей по уровню доступа городского и сельского населения к централизованным система водоотведения приведена в таблице.

Доля населения, имеющего доступ к услугам водоотведения (канализации)

№ п/п	Показатель	Доля населения, имеющего доступ к услугам (%)					
		2009 г.	2015 г.	2018 г.	2020 г.	2021 г.	2025 г. (целевой показатель)
1	доля населения, пользующегося услугами санитарии, организованными с соблюдением требований безопасности (показатель ЦУР 6.2)	-	-	-	98,3*	98,3	100
2	доступ городского населения к централизованным системам водоотведения	87,7	92,78	89,8	87,3*	90,4	92,5
3	доступ сельского населения к централизованным системам водоотведения	26,7	40,85	41,5	25,0*	26,8	32,5

*В 2020 г. при планировании очередного цикла подпрограммы «Чистая вода» Государственной программы «Комфортное жилье» 2021-2025 годы МЖКХ была усовершенствована методология учета охвата населения доступом к централизованным системам водоснабжения и водоотведения (канализации), благодаря которой оптимизирован учет в статистической отчетности и повысилась надежность данных в 2020 и 2021 годах. Этим объясняется тот факт, что в 2020 г. по сравнению с 2015 и 2018 г. по отдельным строкам было отмечено несоответствие (снижение охвата) [2].

В 2021 году обеспеченность населения централизованными системами водоотведения (канализации) в Республике Беларусь составила в целом по стране 78,8 % (к 2025 году необходимо достичь уровня 79,3 %), при этом доля городского населения составила 90,4 %, а доля сельского населения всего лишь – 26,8 %.

Анализ данных таблицы указывает, что при достаточно высокой доле населения, пользующегося услугами санитарии, организованными с соблюдением требований безопасности, уровень подключения к централизованным системам водоотведения (канализации) в сельской местности остается достаточно низким.

Отсутствие централизованных систем водоотведения (канализации) в сельской местности предполагает использование на частных приусадебных участках граждан различных типов автономных сооружений для сбора хозяйственно-бытовых сточных вод:

− систем бытовой канализации в составе резервуара-накопителя (водонепроницаемого выгреба) с последующей откачкой и вывозом жидких коммунальных отходов ассенизационным транспортом;

− очистных сооружений (септики с фильтрующими колодцами, фильтрующие траншеи и др.), предусматривающих отведение очищенных сточных вод в окружающую среду.

При этом можно определить четыре ключевых типа ограничений, которые в совокупности замедляют процесс развития современных системы водоотведения (канализации) и автономных очистных сооружений в сельских населенных пунктах: правовые, технологические, экологические и экономические.

Правовые ограничения связаны с отсутствием норм в действующих технических нормативных правовых актах в области архитектуры и строительства, регламентирующих использование автономных систем бытовой канализации и автономных очистных сооружений в пределах приусадебных участков граждан.

Технологические ограничения − это совокупность характеристик и условий при которых ограничено или невозможно использование сооружений для отведения и очистки сточных вод. Такие ограничения, как правило, связаны с природными факторами (тип грунтов и их фильтрационная способность, уровень залегания грунтовых вод, расположение участка в водоохранной зоне водного объекта и т.п.), с размером земельного участка, с вопросами эксплуатации и технического обслуживания сооружений.

Экологические ограничения определяют требования при использовании автономных очистных сооружений в части их возможного воздействия на поверхностные и подземные воды. До 2020 г. такие требования были закреплены в ТКП 45-3.01-117-2008 «Градостроительство. Районы усадебного жилищного фонда» [4] и ограничивали использование автономных систем бытовой канализации и автономных очистных сооружений величиной приусадебного участка (не менее 600 м^2) и благоприятными инженерно-геологическими и гидрологическими условиями. Однако с отменой ТКП 45-3.01-117-2008 после принятия СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населенного пункта» экологические требования в нем уже не учтены. При этом санитарно-гигиенические требования в части установления санитарно-защитных зон для автономных очистных сооружений в СН 3.01.03- 2020 присутствуют. Так, санитарно-защитную зону септиков следует принимать шириной 5 м, санитарно-защитную зону фильтрующих колодцев − 8 м [5].

Экономические ограничения обусловлены высокими капитальными затратами, дефицитом финансирования, низким уровнем дохода населения в сельской местности, эксплуатационными расходами, инфраструктурных особенностей, отсутствия доступа к внешнему финансированию. Любой из вышеперечисленных аспектов может влиять на развитие систем водоотведения (канализации) в сельских населенных пунктах. Например, низкая плотность населения, при которой капитальные затраты на строительство часто оказываются неоправданно высокими в расчете на одного пользователя; ограниченность бюджетных средств, выделяемых на развитие сельской инфраструктуры; слабое развитие государственных программ субсидирования; высокая стоимость услуг по вывозу сточных вод ассенизационным транспортом, при отсутствии специальной техники в сельской местности; сложность привлечения частных инвестиций из-за низкой рентабельности в сельской местности, а также нехватка квалифицированных кадров для проектирования и монтажа современных систем водоотведения (канализации).

Таким образом, проблему развития систем водоотведения (канализации) и очистки сточных вод в сельских населенных пунктах необходимо решать по двум основным направлениям:

− установление критериев и подходов для определения населенных пунктов, в которых целесообразно развивать централизованные систем водоотведения (канализации) при государственной финансовой поддержке;

− закрепление в национальном законодательстве четких требований в части проектирования и строительства наиболее передовых видов автономных очистных сооружений, а также обоснование экологических требований по их размещению и эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Генеральная Ассамблея: Организация Объединенных Наций, 2015. 44 с.

2. Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021-2025 годы. Минск: Совет Министров Республики Беларусь., 2021. № 50. 120 с.

3. *Дубенок С. А., Кулаков А. Ю.* Имплементация показателей целей устойчивого развития, связанных с водой: опыт Республики Беларусь // Минск: Четыре четверти, 2020. 126 с.

4. ТКП 45-3.01-117-2008 Градостроительство. Районы усадебного жилищного строительства. Нормы планировка и застройки. Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь., 2019. 28 с.

5. СН 3.01.03-2020 Планировка и застройка населенных пунктов. Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь., 2019. 58 с.

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАНТАЦИЙ

Н. В. Емельяненко[1)], **О. И.Родькин**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, attractive675@mail.ru*

Для улучшения структуры почвы, ее агрофизических, химико-биологических и противоэрозионных свойств, широко распространено использование осадков сточных вод, которые после обезвоживания и переработки путем аэробной стабилизации, анаэробного сбраживания, компостирования и других методов, представляют ценное органическое удобрение. Полученные данные о их содержании в почве и основных частях растений быстрорастущей ивы позволят прогнозировать, какие растительные части перейдут в продукцию [3].

Ключевые слова: осадки сточных вод; метод градуировочного графика; коэффициент биологического накопления.

SANITARY-HYGIENIC ASSESSMENT OF THE USE OF SEWAGE SLUDGE FOR ENERGY PLANTATIONS

N. V. Emelianenko[1)], **A. I. Rodzkin**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, attractive675@mail.ru*

To improve the structure of the soil, as well as its agrophysical, chemical-biological and anti-erosion properties, the use of sewage sludge is widespread, which, after dehydration and processing through aerobic stabilization, anaerobic fermentation, composting and other methods, is a valuable organic fertilizer. The obtained data on their content in the soil and the main parts of plants will allow us to predict which plant parts will be suitable for production.

Keywords: sewage sludge; calibration graph method; biological accumulation coefficient

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-45-48

Объект. Объектом лабораторных опытов является осадок сточных вод.

Материалы и методы. С каждой делянки были взяты образцы почвы и отобрано по одной быстрорастущей иве. Затем иву разделяли на следующие растительные части: стебли, корни, листья. Просушили естественным путем. После просушки, почву и растительные части подвергли измельчению. Далее, 10 г воздушно-сухой почвы, измельченной и пропущенной через сито 1 мм взвешивали на аналитических весах. Навеску помещали в химический стакан или коническую колбу вместимостью 200-250 см^3 и заливали 50 см^3 HNO_3 (1:1). Вращательным движением колбы осторожно перемешивали содержимое, накрывали ее часовым стеклом и помещали на закрытую электрическую плитку, доводили до кипения и кипятили на медленном огне 10 мин. Затем к пробе по каплям приливали 10 см^3 концентрированной перекиси водорода при перемешивании и вновь помещали на электрическую плитку, доводили до кипения и кипятили еще 10 мин. После охлаждения до комнатной температуры суспензию отфильтровывали через складчатый фильтр синяя лента в мерную колбу вместимостью 100 см^3. Фильтр с осадком помещали в стакан, в котором остался остаток золы, приливали 40 см^3 1М HNO_3, нагревали и кипятили содержимое еще 30 мин. После охлаж-

дения до комнатной температуры жидкость отфильтровывали в ту же мерную колбу. Осадок на фильтре промывали горячей 1M HNO_3 и после охлаждения доводили объем фильтрата до метки дистиллированной водой. Одновременно проводили «холостой» анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы.

Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления. В фарфоровый тигель помещали навеску исследуемой пробы растения массой 10 г. Затем его помещали в печь и прокаливали при температуре 525±25 °С до полного озоления пробы. Полноту озоления пробы оценивали постоянством массы тигля после повторных прокаливаний и охлаждений если разность результатов двух последовательных взвешиваний составит не более 0,001 г. Кислотную экстракцию металлов из золы проводили аналогично описанному выше методу.

Определение концентрации металлов в растворах проводили на атомно-абсорбционном спектрометре, используя метод градуировочного графика для каждого определяемого металла.

Содержание металлов в исследуемых образцах рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{V \cdot (A_1 - A_0)}{m},$$

где X – массовая доля определяемого металла в пробе, мг/кг; A_1 – концентрация металла в исследуемой кислотной вытяжке пробы, найденная по градуировочному графику, мкг/см^3; A_0 – концентрация металла в «холостой» пробе, найденная по градуировочному графику, мкг/ см^3; m – масса воздушно-сухой пробы, г; V – объем исследуемого раствора, см^3.

Результаты и выводы. Для количественной оценки поступления тяжелых металлов из почвы в растения рассчитывались коэффициенты биологического накопления (КБН) − отношение содержание тяжелого металла в единице массы растения (мг/кг) к содержанию тяжелого металла в единице почвы (мг/кг). Результаты расчетов коэффициентов биологического накопления ряда тяжелых металлов в листьях, корнях и стеблях ивы после внесения осадков сточных вод в почву представлены на рис. 1–3.

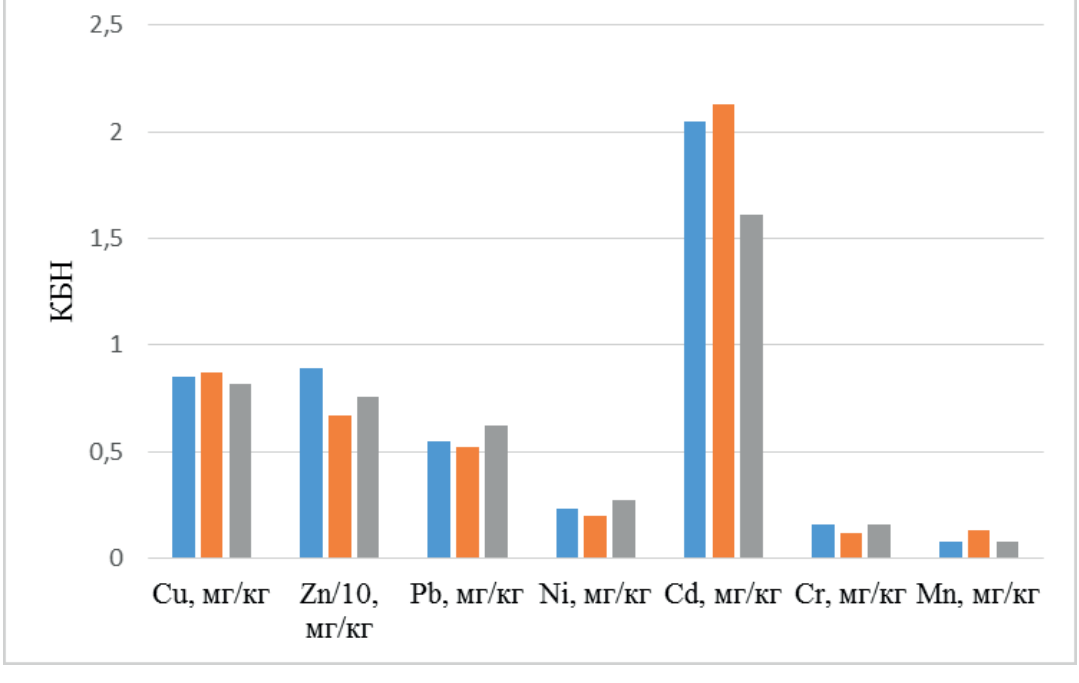


Рис. 1. Коэффициент биологического накопления элементов в листьях

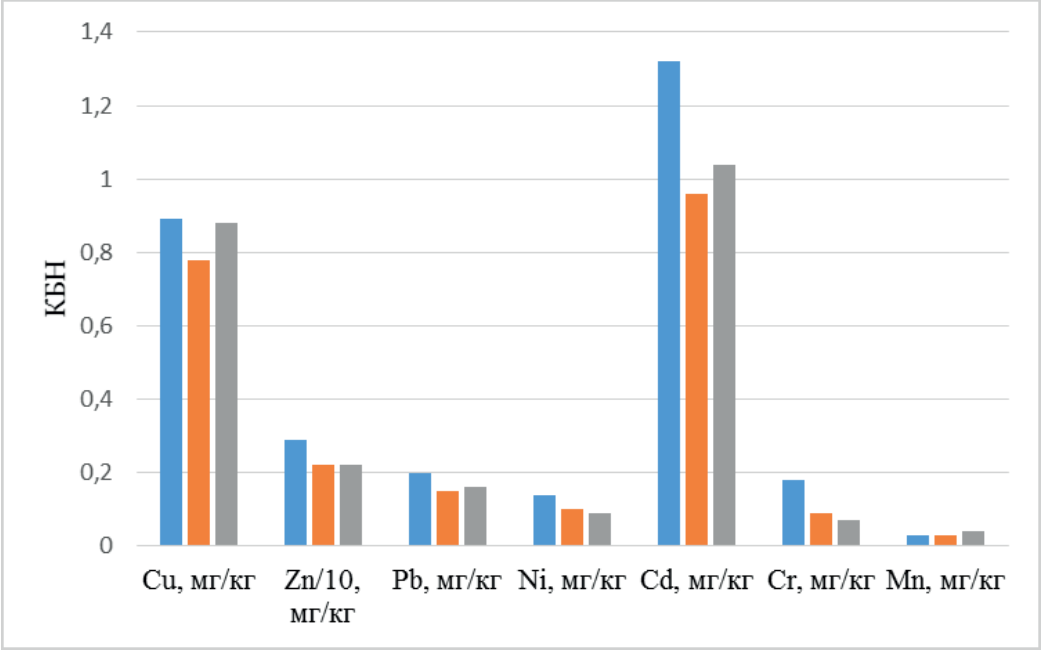


Рис. 2. Коэффициент биологического накопления элементов в стеблях

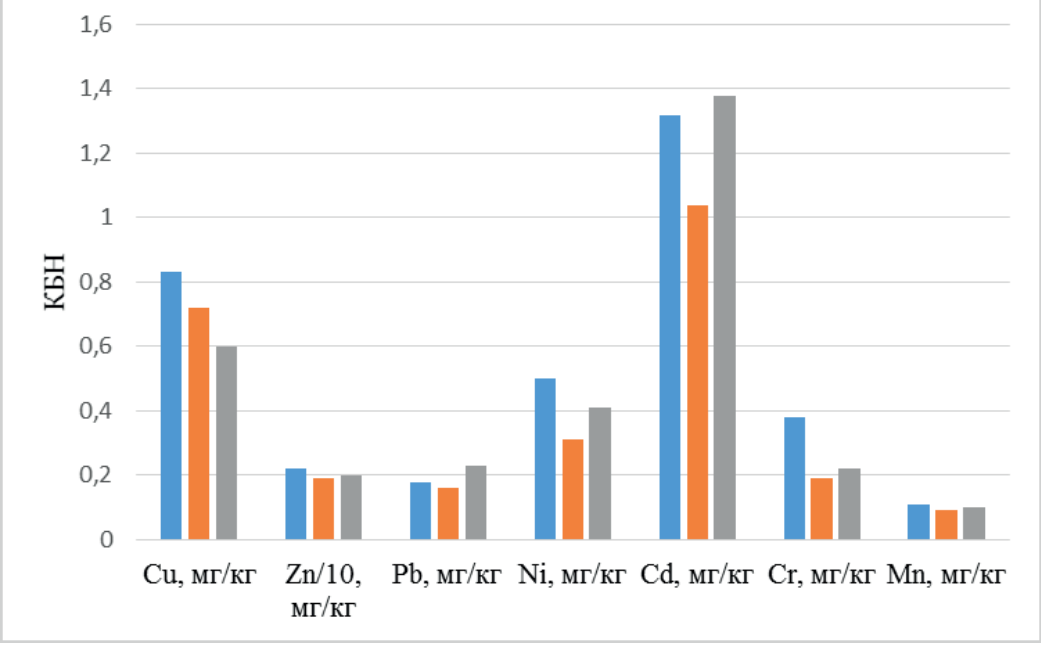


Рис. 3. Коэффициент биологического накопления элементов в корнях

По данным графиков 1–3 можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициент биологического накопления Cu в стеблях, листьях близок к единице. Что является положительной динамикой, если речь идет о землях, которые подлежат рекультивации и бедны микро- и макроэлементами. Поскольку Cu участвует в процессе фотосинтеза и фиксации азота растениями. В растениях основное количество меди аккумулируется в хлоропластах. Она стабилизирует процесс синтеза хлорофилла и предохраняет его от разрушения. повышает устойчивость к полеганию. Медь также положительно влияет на синтез белков в растениях, которые обеспечивают водоудерживающую способность растительных тканей. Следовательно, медь играет особую роль для повышения стрессоустойчивости растений к внешним экологическим факторам, таким как заморозки и недостаток влаги [2].

2. В корнях и листьях содержание Cd с увеличением дозы внесения осадков сточных вод растет. В корнях от 1,32 мг/ кг до 1,38 мг/кг. В листьях от 2,05 мг/кг до 2,13 мг/кг.

В стеблях мы наблюдаем обратную ситуацию. С увеличением внесения коэффициент биологического накопления Cd и Pb снижается. Что по всей видимости связано с антагонизмом между никелем, кадмием и свинцом, что способствует торможению аккумуляции последних элементов в биомассу ивы.

3. Коэффициент биологического накопления никеля в стеблях, листьях и корнях с увеличением дозы снижается. Поскольку аккумуляция элементов имеет определенную тенденцию, Ni и Cr относятся к группе слабого поглощения. Основным путем, по которому ионы Ni поступают в растения, является его поглощение из почвы корневой системой. При поступлении в почву часть металла связывается с её органическими веществами, в результате чего никель становится недоступным для растений. В связи с этим поглощение металла растениями зависит не столько от его содержания в почве, сколько от количества обменной формы никеля [1].

Библиографические ссылки

1. *Иванищев В. В.* Никель в окружающей среде и его влияние на растения // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2021. № 2. С. 38-50.

2. Медь в растениях и почве [Электронный ресурс]. URL: https://direct.farm/post/med-v-rasteniyakh-i-pochve-17334 (дата обращения: 27.02.2025).

3. *Межевова А. С., Новиков А. Е.* Состав, структура и морфология осадка сточных вод. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1. С. 389-397.

ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ БЕЛОРУССКОЙ АЭС НИЗКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ НА ЗАХОРОНЕНИЕ

А. М. Жемжуров[1)], **Н. В. Горбачева**[1)]

[1)] *ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 223063, д. Прилесье, Луговослободской с/с, 47/22, Минский р-н, Минская обл., Беларусь., zhemzhurov.a@sosny.bas-net.by*

Выполнен анализ способов кондиционирования радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации Белорусской АЭС. Рассмотрены аспекты, обуславливающие необходимость дополнительного кондиционирования радиоактивных отходов низкой активности Белорусской АЭС при передаче на захоронение в планируемый пункт захоронения радиоактивных отходов. Определены возможные варианты контейнеризации отходов низкой активности, обеспечивающие выполнение соответствия критериям приемлемости при размещении в пункт захоронения.

Ключевые слова: атомная электростанция; радиоактивные отходы; захоронение радиоактивных отходов; кондиционирование радиоактивных отходов; критерии приемлемости.

POSSIBLE WAYS OF CONDITIONING OPERATIONAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE FROM BELARUSIAN NPP DURING TRANSFER FOR DISPOSAL

A. M. Zhemzhurov[1)], **N. V. Gorbacheva**[1)]

[1)] *State Scientific Institution "Joint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny" of the National Academy of Sciences of Belarus, 223063, Prilesye village, Lugovoslobodskoy s/s, 47/22, Minsk district, Minsk region, Belarus, zhemzhurov.a@sosny.bas-net.by*

The methods of conditioning radioactive waste generated during the operation of the Belarusian NPP are analyzed. Aspects, causing the necessity of additional conditioning of low activity radioactive waste of the Belarusian NPP when transferring it for disposal to the planned radioactive waste disposal facility, have been considered. Possible options for containerization of low-level waste to ensure compliance with the eligibility criteria for disposal to a disposal facility are identified.

Keywords: nuclear power plant; radioactive waste; disposal of radioactive waste; conditioning of radioactive waste; acceptance criteria.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-49-54

Обязательным этапом подготовки радиоактивных отходов (РАО) к окончательной изоляции является их кондиционирование. Кондиционирование твердых РАО (ТРО) обеспечивается их переводом в физическую форму и состояние, пригодные для захоронения и соответствующие критериям приемлемости для захоронения. Кондиционирование включает помещение РАО в специальные контейнеры и при необходимости применение дополнительного контейнера [1]. Для планируемых сооружений захоронения требования к конечным формам упакованных РАО определяются исходя из общих критериев приемлемости для захоронения, регламентированным требованиями [2].

Кондиционирование эксплуатационных РАО на Белорусской АЭС включает операции по изготовлению упаковки приемлемой для манипулирования, хранения и перевозки РАО. Для этих целей предусматривается использование сертифицированных контейнеров типа НЗК (железобетонный невозвратный защитный контейнер) и специальных 200-литровых металлических бочек [3].

В настоящей работе выполнен анализ способов кондиционирования РАО, образующихся при эксплуатации Белорусской АЭС. Рассмотрены аспекты, обуславливающие необходимость дополнительного кондиционирования РАО низкой активности Белорусской АЭС при передаче на захоронение в планируемый пункт захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО). Определены возможные варианты их контейнеризации, обеспечивающие выполнение требований к огнестойкости конечных форм упаковок и соответствие критериям приемлемости при захоронении в планируемый ПЗРО.

Необходимость дополнительного кондиционирования ТРО, поступающих на захоронение с Белорусской АЭС

В научном учреждении «ОИЭЯИ – Сосны», в рамках заданий государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021-2025 годы, проработаны возможные концептуальные решения приповерхностного захоронения РАО категорий очень низкоактивные (ОНРАО), низкоактивные (НАО) и короткоживущие среднеактивные (САО), образующихся при эксплуатации Белорусской АЭС. В [4 – 7] рассмотрены полузаглубленный и наземный варианты такого захоронения. При разработке технической концепции ПЗРО на основе проектных данных по количественным и радиационным характеристикам ТРО, образующихся на АЭС, определялась необходимость их дополнительного кондиционирования для приведения в соответствие общим критериям для захоронения, регламентируемым [2]. Поступающие с АЭС на захоронение ТРО могут быть разделены на две группы [3; 4]:

– первичные упаковки РАО в форме, отвечающей критериям приемлемости для захоронения;

– первичные упаковки РАО, для которых выявлена необходимость дополнительного кондиционирования для приведения их к конечной форме, приемлемой для приповерхностного захоронения.

Ко второй группе относятся:

– упаковки с отходами категории САО в 200-литрововых бочках, которые не удовлетворяют критериям приемлемости в части сохранения изолирующей способности упаковки РАО и устойчивости к термическим циклам;

– упаковки с горючими НАО и ОНРАО, сформированные на основе 200-литровых бочек, которые не удовлетворяют критериям приемлемости [2] в части обязательного размещения горючих ТРО в контейнере, соответствующем требованиям к огнестойкости.

В качестве конечной формы упаковки для размещения на захоронение бочек с ТРО категории САО рекомендован контейнер НЗК-150-1,5П, обеспечивающий соответствие нормативным требованиям по критериям приемлемости, в том числе снижение мощности дозы гамма-излучения на его поверхности до регламентируемых уровней [4]. Для размещения на захоронение бочек с горючими ОНРАО и НАО также был рекомендован контейнер НЗК-150-1,5П, обеспечивающий необходимые требования к огнестойкости и унификацию с проектным решением по контейнеризации отвержденных жидких РАО, осушенных ионообменных смол и бочек с ТРО категории САО.

В настоящей работе рассматриваются способы кондиционирования ОНРАО за исключением эксплуатационной категории «очень низкоактивные отходы» введенной на Белорусской АЭС (ОНАО), входящих в их состав. Для ОНАО предусмотрен особый порядок обращения и упаковки на АЭС [8] и при захоронении [4].

Обеспечение безопасности и эффективности при обращении с РАО с использованием НЗК-150-1,5П

Основные технические характеристики сертифицированного НЗК-150-1,5П, выпускаемого АО «345 Механический завод» (Россия), согласно [9]: емкость – 1,5 м^3; толщина стенок – 150 мм; габаритные размеры (длина×ширина×высота) – 1650×1650×1375 мм; масса без отходов – 4 т; масса с отходами – не более 7 т.

Согласно пункту 23 [2] в общем случае для захоронения допустимы негорючие и трудногорючие РАО. Горючие РАО могут быть приняты на захоронение, если они упакованы в соответствующем контейнере (упаковочном комплекте), при этом полученная упаковка РАО соответствует требованиям к огнестойкости, установленным в проекте ПЗРО. Контейнер для РАО, представляющий собой железобетонную конструкцию в виде замкнутой со всех сторон емкости, можно рассматривать как отдельное сооружение с ограждающими конструкциями, являющимися противопожарными преградами. В соответствии с российскими СП 486.1311500.2020 к таким преградам относятся ограждающие конструкции с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч. Выполненные в соответствии с [10] расчёты показывают, что при толщине стенки 150 мм железобетонная конструкция имеет предел огнестойкости выше 1,5 ч для всех типов армированных бетонов независимо от характера пожарной нагрузки. Исходя из этого, упаковки РАО, сформированные на основе НЗК-150-1,5П, соответствуют требованиям к огнестойкости.

Контейнер обеспечивает возможность загрузки во внутреннюю полость четырех бочек (общим объемом 800 л), применяемых на Белорусской АЭС для первичной упаковки ТРО, или 1,5 м^3 переработанных РАО без упаковки в бочки. Классическая схема размещения бочек – симметричная относительно центра и стенок контейнера (рис. 1а).

Эффективность использования различных упаковок для заданного количества РАО определяется в общем случае коэффициентом полезного использования объема ($K_{пио}$), рассчитываемым как отношение объема (нетто) размещаемых РАО к объему (брутто) упаковки. При хранении РАО без бочек $K_{пио}$ для НЗК-150-1,5П находится на уровне 0,4 [11]. При размещении в нем четырех бочек $K_{пио}$ составляет величину 0,229.

Следует отметить, что для упаковки ОНРАО и НАО требования к сохранению изолирующей способности минимальны – на срок до размещения на захоронение [2]. То есть для этих категорий РАО защитные и изоляционные свойства НЗК-150-1,5П избыточны. Поэтому целесообразно рассмотреть альтернативные варианты контейнеризации, соответствующие требованиям к огнестойкости и габаритным размерам типоряда НЗК-150-1,5П и обеспечивающие унификацию проектных решений по ПЗРО.

Альтернативные варианты контейнеризации РАО низкой активности

При заданных габаритных размерах контейнера увеличение вместимости может быть достигнуто за счет увеличения и рационального использования его полезного объема. Поскольку горючие ТРО поступают с Белорусской АЭС в бочках, то повышение эффективности использования контейнера может быть достигнуто если обеспечить возможность размещения в контейнере больше четырех бочек или предусмотреть извлечение ТРО из бочек с последующим помещением в контейнер.

В качестве альтернативы НЗК-150-1,5П для размещения горючих ТРО Белорусской АЭС можно рассмотреть следующие варианты конечных упаковок:

– железобетонный контейнер с габаритами НЗК-150-1,5П большей вместимости за счет уменьшения толщины стенки;

– защитный металлический контейнер (КМЗ).

Железобетонный контейнер с габаритами НЗК-150-1,5П большей вместимости

В настоящее время для размещения радиоактивных отходов применяются различные виды железобетонных контейнеров, которые изготовлены из железобетона плотностью 2,4-2,6 т/м^3, а массогабаритные характеристики отличаются незначительно – имеют различную толщину стенки от 110 до 150 мм. Основные технические характеристики сертифицированного НЗК-МР с толщиной стенки 110 мм, обеспечивающей огнестойкость упаковки РАО, согласно [12]: внутренний объем – 1,9 м^3; толщина днища/крышки – 120/125 мм; габаритные размеры (длина×ширина×высота) – 1650×1650×1340 мм; масса без отходов – 3,54 т. Вмести-

мость указанного контейнера за счет уменьшения толщины стенки в 1,25 раза больше, чем у НЗК-150-1,5П. Однако внутренние габариты контейнера не позволяют разместить в нем более четырех бочек.

Учитывая меньшую массу и материалоемкость НЗК-МР, его использование в качестве конечной формы упаковки четырех бочек с горючими ТРО может быть целесообразно. Для данного случая $K_{пио}$ составляет величину 0,231.

Значительное увеличение вместимости рассматриваемых ТРО в НЗК-МР может быть достигнуто за счет их извлечения из бочек с последующим помещением в контейнер. В данном случае $K_{пио}$ составляет приблизительно 0,55.

Вместе с тем, следует учитывать, что применение указанного способа потребует использования на ПЗРО довольно сложной технологии переупаковки ТРО. Также необходимо выполнить обоснование огнестойкости контейнера.

Как показано в [11] для рассматриваемых низкоактивных отходов (удельная активность радиоактивного содержимого менее 104 Бк/г) не требуется дополнительная радиационная защита – упаковка служит только как изолирующий от внешней среды барьер и обеспечивает удобство обращения с отходами. То есть из-за низкой удельной активности ОНРАО и НАО значения мощности дозы гамма-излучения на внешней поверхности контейнера не более 2 мГр/ч, регламентируемые [2], заведомо будут обеспечены.

Металлический контейнер типа КМЗ

Металлические контейнеры КМЗ по размерам соответствуют бетонным контейнерам НЗК-150-1,5П. Согласно [13] контейнеры КМЗ предназначены для размещения, транспортирования, длительного хранения и захоронения твердых и отвержденных ОНРАО, НАО и САО. В них могут размещаться цементированные РАО (кубовые остатки, смолы, шламы), ТРО (прессованные, в бочках, навалом), зола от сжигания ТРО (в бочках).

Основные технические характеристики контейнеров КМЗ, согласно [9]: объем загрузки – 3,2 м^3; толщина стенок/днища/крышки – 5/8/8 мм; габаритные размеры (длина×ширина×высота) – 1650×1650×1375 мм; количество размещаемых бочек объемом 200 л – 5 шт.

Тонкостенные металлические контейнеры не рассчитаны на выполнение требований к огнестойкости. Поэтому, для размещения горючих ТРО Белорусской АЭС в КМЗ могут быть рассмотрены два варианта:

– размещение в контейнере пяти бочек и заливка их цементной смесью для создания огнезащитного барьера;

– использование для контейнера огнеупорного вкладыша и размещение в нем бочек с ТРО или их содержимого навалом.

На рисунке 1б представлена схема размещения пяти бочек в контейнере КМЗ при реализации первого варианта. При этом расстояния от бочки до боковых стенок контейнера составляют 95 и 134 мм. Для рассматриваемого варианта $K_{пио}$ составляет величину 0,282.

Однако использование контейнера КМЗ с заливкой пустот между стенками контейнера и бочками цементной смесью требует обоснования огнестойкости конструкции при указанных выше расстояниях от бочек до стенок. Также необходимо достижение определенной толщины и качества цементной заливки со всех сторон бочек, что требует дополнительной конструкторской проработки.

Для второго указанного выше варианта (рис. 2) может быть применен вкладыш из материала, обеспечивающего огнестойкость контейнера: базальтовый холст, стекловолокно или другие, подобранные для получения огнеупорных характеристик согласно общим требованиям к испытаниям на огнестойкость [14]. В этом случае в контейнере с вкладышем возможно размещение пяти бочек (рис. 2а) или горючих ТРО навалом после их извлечения из первичных упаковок (рис. 2б).

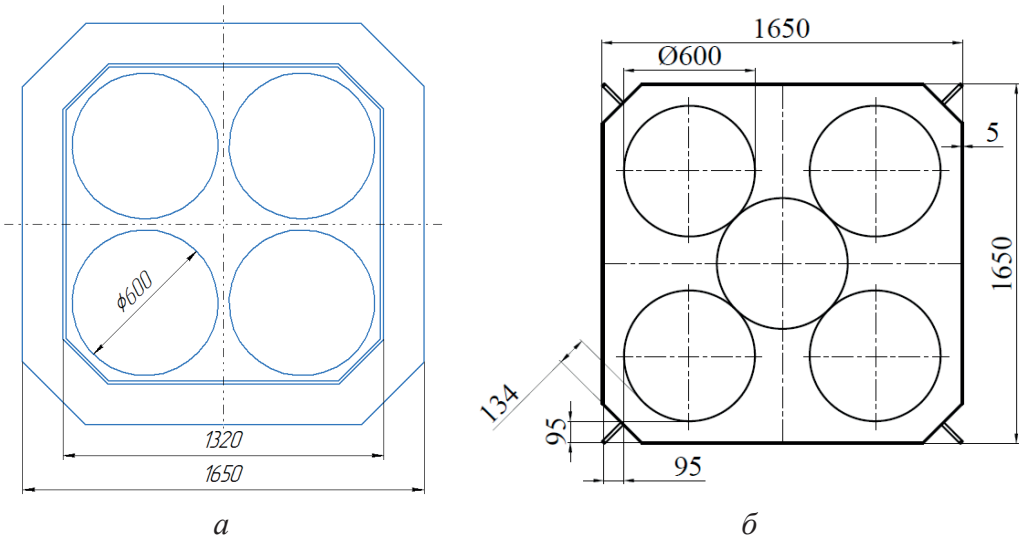


Рис. 1. Схема размещения бочек:
а – в контейнере НЗК-150-1,5П; *б* – в контейнере КМЗ

Экономический эффект от использования контейнера с огнестойким вкладышем может быть достигнут за счёт большей по сравнению с НЗК-150-1,5П вместимости. Для размещения ТРО в бочках $K_{пио}$ равен величине 0,282, для размещения ТРО навалом $K_{пио}$ достигает значения 0,69.

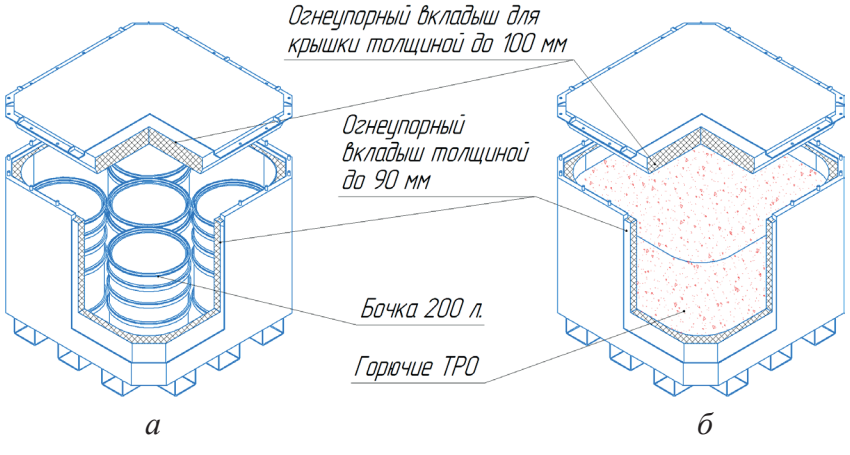


Рис. 2. Варианты создания огнестойких упаковок для горючих РАО на основе КМЗ:
а – размещение ТРО в бочках; *б* – размещение ТРО навалом

Оценка эффективности при реализации предложенных вариантов обращения с ТРО

Исходя из предварительно полученных данных для концептуального проекта ПЗРО [4], за 60 лет эксплуатации двух блоков Белорусской АЭС будет образовываться ориентировочно 720 м^3 горючих ОНРАО и НАО (3600 бочек), что потребует 900 НЗК-150-1,5П для размещения данных отходов.

При использовании в качестве конечной формы упаковки НЗК-МР потребуется так же 900 контейнеров при размещении в них четырех бочек, а при размещении ТРО навалом – 379 контейнеров.

При упаковке в КМЗ пяти бочек потребуется 720 контейнера, а при размещении ТРО навалом – 296 контейнеров.

Таким образом, применение рассмотренных альтернативных вариантов контейнеризации горючих РАО низкой активности позволяет значительно снизить объемы подлежащих захоронению упаковок.

Заключение

Предложенные варианты создания конечных форм упаковок горючих РАО низкой активности Белорусской АЭС на основе железобетонных и металлических контейнеров позволяют снизить их объемы, подлежащие захоронению, по сравнению с принятым ранее в концептуальном проекте ПЗРО способом контейнеризации в НЗК-150-1,5П. Для определения рационального способа использования упаковок необходимо выполнить конструкторскую проработку рассмотренных вариантов с определением затрат на их захоронение.

Библиографические ссылки

1. Нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения» [Электронный ресурс]: утв. постановлением МЧС Респ. Беларусь, 28.09.2010, № 47 (в ред. постановления, 24.07.2017, № 33). URL: https:// gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/a98/postanovlenie_mchs_47.pdf (дата обращения: 15.12.2024).

2. Нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» [Электронный ресурс]: утв. постановлением МЧС Респ. Беларусь, 16.07.2019, № 47 (в ред. постановления, 15.05.2020 г., № 24). URL: https:// gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/57c/postmes_16_07_19_n_47.pdf (дата обращения: 15.12.2024).

3. *Артёмов Д. Л.* Технологии обращения с радиоактивными отходами на Белорусской АЭС [Электронный ресурс]. URL: https://disk.yandex.ru/d/HWioJYUBaUxFaQ (дата обращения: 15.12.2024).

4. *Жемжуров М. Л., Кузьмина Н. Д.* Техническая концепция захоронения очень низкоактивных, низкоактивных и короткоживущих среднеактивных радиоактивных отходов Белорусской АЭС // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Серия фіз.-тэхн. навук. 2022. № 1. С. 105–118.

5. *Жемжуров М. Л., Павлов Д. И., Жемжуров А. М.* Разработка технической концепции сооружений приповерхностного захоронения радиоактивных отходов Белорусской АЭС. Часть 1. Актуальность и нормативные требования // Энергетическая стратегия. 2024. № 5 (101). С. 44–47.

6. *Жемжуров М. Л., Павлов Д. И., Жемжуров А. М.* Разработка технической концепции сооружений приповерхностного захоронения радиоактивных отходов Белорусской АЭС. Часть 2. Зарубежный опыт и возможные концептуальные решения для Беларуси // Энергетическая стратегия. 2024. № 6 (102). С. 51–55.

7. *Жемжуров М. Л., Павлов Д. И., Жемжуров А. М.* Варианты концептуальных решений для сооружений приповерхностного захоронения радиоактивных отходов Белорусской АЭС // Радиоактивные отходы. 2024. № 4 (29). С. 53–65.

8. *Жемжуров М. Л, Песцова А. В., Жемжуров А. М.* Об обращении с радиоактивными отходами очень низкой активности на Белорусской АЭС // Энергетическая стратегия. 2024. № 4 (100). С. 44–48.

9. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности / Р. М. Гатауллин [и др.]. М. : Логос, 2012.

10. *Милованов А. Ф.* Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006-2006). М., 2008.

11. Многоцелевые упаковки для радиоактивных отходов / М. В. Радченко [и др.] // Радиоактивные отходы. 2017. №1. С. 75–83.

12. Инновационные технологии и экспертиза. НЗК-МР. [Электронный ресурс]. URL: http://stc-intex.ru/new-et/nzk-mp.html (дата обращения: 15.12.2024).

13. Контейнер металлический защитный КМЗ АТ-2-00.00.00.000 [Электронный ресурс] // 345-й механический завод. URL: https://345mz.ru/kontejneryi-dlya-rao/metallicheskie-kontejneryi/kmz-m (дата обращения: 15.12.2024).

14. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования : ГОСТ 30247.0-94. Введен 01.01.1996. 7 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ, ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЗЕЛЕНЫХ КУЛЬТУР В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Н. В. Жешко[1)], **В. В. Корней**[1)], **А. М. Павлюченко**[1)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная 33*
220014, г Минск, Беларусь, n.zheshko@unitsky.com

Улитки, как представители мезофауны почвы, активно влияют на формирование её плодородного слоя. Поедая растительные и животные остатки, они обогащают почву органическим веществом. Полученный в процессе жизнедеятельности улиток зоогумус содержит биогенные элементы, соли гуминовых кислот, необходимые для роста и развития растений. Салат латук, выращенный на улиточном зоогумусе, характеризовался лучшей всхожестью, энергией прорастания и большей биомассой по сравнению с универсальным почвогрунтом.

Ключевые слова: зоогумус; органическое удобрение; улитки Achatina.

USING ORGANIC FERTILIZER OBTAINED DURING THE LIFE OF ACHATINA SNAILS FOR GROWING GREEN CROPS IN LABORATORY CONDITIONS

N. Zheshko[1)], **V. Karnei**[1)], **A. Pauliuchenka**[1)]

[1)] *Unitsky String Technologies, Zheleznodorozhnaya str. 33*
220014, Minsk, Republic of Belarus, n.zheshko@unitsky.com

Snails, as representatives of the soil mesofauna, actively influence the formation of its fertile layer. By consuming plant and animal remains, they enrich the soil with organic matter. The zoohumus produced during the life of snails contains biogenic elements, humic acid salts necessary for the growth and development of plants. Lettuce grown on snail zoohumus exhibited better germination, higher germination energy and greater biomass compared to universal soil.

Keywords: zoohumus; organic fertilizer; snails Achatina.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-55-59

Введение. Качественное состояние почв сельскохозяйственного значения зависит от нескольких групп факторов: антропогенных (способы обработки почв, набор возделываемых культур, внесение удобрений и пестицидов и др.), природных, связанных с особенностями почвообразования [1]. Большую роль в почвообразовательном процессе играют представители мезофауны почвы, к которым относятся различные беспозвоночные животные (дождевые черви, мокрицы, насекомые и их личинки, паукообразные, улитки, слизни). Они осуществляют трофическую и средообразующую деятельность в почве [2]. Прокладывая ходы в почве, представители мезофауны выбрасывают землю на поверхность, улучшают температурный, водный, газовый и солевой состав почвы, а затаскивая глубоко в ходы растительные и животные остатки, повышают содержание органических веществ. Их экскременты становятся мелкими зернистыми структурными элементами почвы. Умирая, они сами служат источником обогащения почвы органическими веществами. Кроме того, в своих твердых покровах отдельные почвенные беспозвоночные (улитки) накапливают много углекислого кальция, который улучшает водопрочность почвенной структуры [3].

Участие организмов в почвенных процессах может быть и прямым, и косвенным. Прямое участие реализуется в метаболических процессах, а косвенное предполагает регулирующее

действие организмов друг на друга. Метаболические функции осуществляются при использовании организмами химических соединений для получения энергии, углерода, азота и других элементов питания. Регулирующие функции предполагают изменение активности одного из организмов другим.

Пищеварительный тракт сапротрофных почвенных беспозвоночных животных, относящихся к макрофауне, представляет собой особое местообитание микроорганизмов, участвующих в почвообразовательном процессе [2].

Легочные улитки, относящиеся к представителям мезофауны почвы, в процессе своей жизнедеятельности оказывают влияние на формирование плодородного слоя почвы. Сухопутные моллюски поедают и переваривают отмершие части растений, остатки животного происхождения, тем самым возвращая органическое вещество в почву. Также известно, что улитки могут в небольших количествах заглатывать почву и, пропуская через свой пищеварительный тракт, тем самым обогащать её полезными микроорганизмами. Таким образом, в процессе жизнедеятельности брюхоногих моллюсков образуется зоогумус (зоокомпост) – органическое удобрение, которое можно использовать для повышения плодородия почвы и роста урожайности сельскохозяйственных культур.

Методика исследования. Целью исследования являлось изучение механизмов формирования зоогумуса (зоокомпоста) в процессе жизнедеятельности улиток рода *Achatina*. Объект исследования: органическое удобрение, полученное в процессе жизнедеятельности улиток.

Исследования проводились в отделе биотехнологий ЗАО «Струнные технологии». Для получения зоогумуса были использованы легочные улитки *Achatina immaculata* ввиду их больших размеров и, соответственно, способности перерабатывать большее количество растительных остатков за непродолжительное время (в отличие от виноградной улитки), а также неприхотливости в содержании в лабораторных условиях.

Из улиток *A. immaculata* были сформированы 3 опытные группы по 8 штук в каждой. Каждая группа улиток была помещена в террариум на 50 л с одинаковым количеством субстрата (торфа). В террариумах поддерживались температура +25 – +28 0С и влажность 70 – 85 % В течение 90 дней опытным группам задавалось одинаковое количество корма. Вёлся учёт съеденного корма.

Один раз в месяц определялись физико-химические показатели субстрата опытных групп, количество КОЕ определяли еженедельно. Те же показатели были определены в субстрате без животных однократно. Количество свободных гуминовых кислот определяли гравиметрическим методом, калий – методом пламенной фотометрии по ГОСТ 26718-85, азот – по ГОСТ 26715-85, фосфор – по ГОСТ 26717-85, pH – по СТБ 17.13.05-36-2015, массовую долю влаги по ГОСТ 26713-85, массовую долю органического вещества по ГОСТ 27980-88.

В конце опыта был проведён анализ полученных данных и заложен новый эксперимент по выращиванию растений на полученном субстрате. В качестве тестового растения использовали салат латук (*Lactuca sativa L.*) Для контроля применяли почвогрунт универсальный «Terra Vita» и почвогунт с добавлением удобрения органического «Биогумус uTerra», которое представляет собой продукт биотехнологической переработки органических отходов животноводства и растениеводства с помощью технологической линии красного калифорнийского червя. В процессе эксперимента учитывали всхожесть салата, энергию прорастания (подсчитывали 50 растений) и полученную в конце опыта массу.

Результаты исследований. В процессе проведения эксперимента определили, что в субстрате, на котором содержались улитки, отмечался рост химических показателей: азот, фосфор, калий, гуматы, нитраты (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические показатели зоогумуса, полученного в процессе жизнедеятельности A. immaculata

Показатель	Ед. изм.	До начала опыта (торф)	1 мес.	2 мес.	3 мес.
Гуматы	% на сух. беззол.	16,7	15,0±2,5	17,3±1,1	21,4±2,4
N общ.	мг/100 г	818,71	815,0±28,5	892,3±26,1	1289,7±122,8
P общ	мг/100 г	83,1	174,9±50,3	203,7±6,5	354,7±17,8
K общ.	мг/100 г	46,8	311,5±14,8	569,4±8,7	773,8±28,3
Нитраты	мг/100 г	8,3	189,3±65,6	195,5±75,3	364,8±70,1
Ca	мг/кг	75,4	183,1±19,4	205,9±21,1	168,1±14,7
Mg	мг/кг	7,7	30,2±2,3	53,7±7,8	54,0±5,7
pH	ед.	6,7	7,6±0,1	7,9±0,1	8,1±0,0
Влажность	%	53,7	72,3±1,0	78,2±0,1	80,2±0,9
Орг. вещество	%	2,2	80,4±0,4	80,1±0,4	77,1±1,2

Анализ таблицы 1 показывает, что за 3 месяца количество азота увеличилось в 1,6 раз, фосфора – в 4,3 раза, калия – в 16,5 раз. Количество гуматов увеличилось на 28,1 % по отношению к первоначальному значению. Также значительно увеличилось количество нитратов – в 43,9 раз. Поскольку дважды в неделю с кормом улиткам задавали доломитовую муку для роста их раковины, то в полученном зоогумусе значительно увеличилось количество кальция и магния в 2,2 и 7,0 раз соответственно, а также изменилась реакция среды в щелочную сторону. Однако, количество кальция в зоогумусе было наименьшим к третьему месяцу эксперимента по сравнению с первыми двумя, так как, скорее всего, для роста раковины улитки стали его больше потреблять. Поскольку в процессе эксперимента в субстрате накапливались продукты жизнедеятельности улиток и остатки несъеденного корма, то в полученном биогумусе в 35,1 раз увеличилось количество органического вещества. К концу опыта повысилась влажность субстрата на 49,4 %, что связано с выделением улитками значительного количества слизи.

Что касается микрофлоры, обитающей в улиточном субстрате, то до 8 недель течения опыта количество микроорганизмов не имело значительных отличий по сравнению с первоначальным значением (рис. 1).

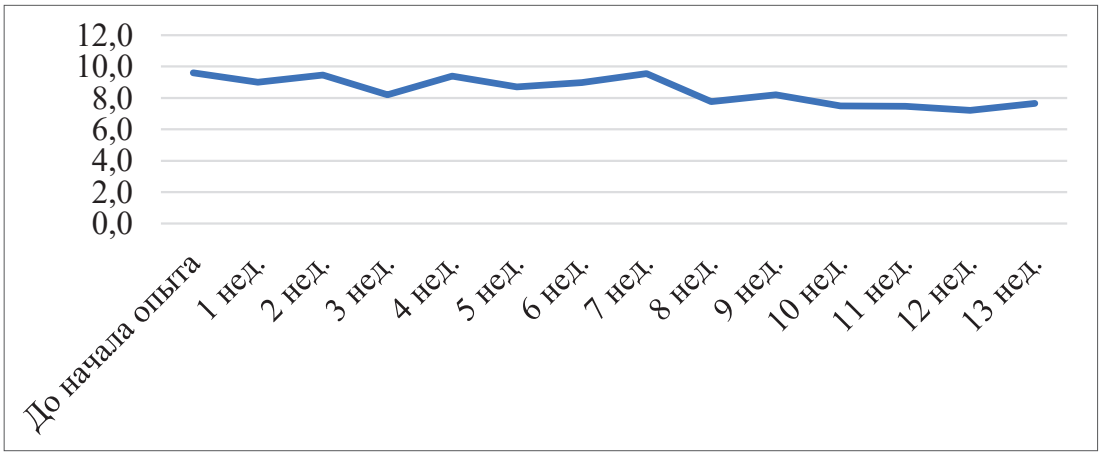
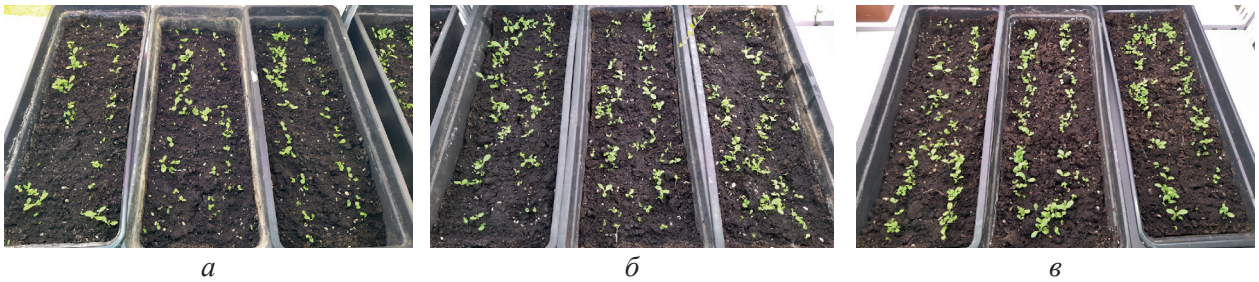


Рис. 1. Динамика количества микроорганизмов в зоогумусе, полученном в процессе жизнедеятельности *A. immaculata*, lg КОЕ/г

После 2 месяцев опыта количество микроорганизмов стало постепенно снижаться, достигнув 75,3 % от начального значения. Данный эффект, возможно, связан с выделением улиточной слизи в субстрат, которая обладает бактерицидными свойствами [4; 5].

Физико-химические показатели полученного улиточного зоокомпоста сравнили с таковыми показателями удобрения органического «Биогумус uTerra». Согласно ТУ BY 192425073.018-2023, в удобрении органическом «Биогумус uTerra» должно содержаться азота N не менее 900 мг/100 г, фосфора P_2O_5 не менее 900 мг/100 г, калия K_2O не менее 900 мг/100 г, массовая доля органического вещества на сухой продукт – не менее 50 %, показатель pH 6,0 – 8,0. Таким образом зоогумус, полученный в процессе жизнедеятельности *A. immaculata* несколько уступает червячному биогумусу по количеству фосфора и калия. Однако наличие в улиточном зоогумусе биогенных элементов, солей гуминовых кислот, органического вещества делает его потенциально ценным удобрением для растений.

Во второй части эксперимента определили, что всхожесть салата на грунте с добавлением улиточного зоогумуса составила 97,3 %, тогда как на почвогрунте «Terra Vita» и грунте с червячным биогумусом – соответственно 89,7 % и 98,5 % (рис. 2). При этом семена салата начали всходить на 2-й день после посева во всех вариантах, однако на грунте с улиточным зоогумусом и червячным биогумусом всходы были более равномерными, и, по сравнению с почвогрунтом «Terra Vita», основная масса семян проросла на 2 дня раньше (5 и 7 день соответственно) (табл. 2).



а *б* *в*

Рис. 2. Всходы салата на 7 день: *а* – на универсальном почвогрунте, *б* – с добавлением органического удобрения «Биогумус uTerra», *в* – с добавлением улиточного зоогумуса

Таблица 2

Энергия прорастания семян салата, %

Почвогрунт	Период, сутки		
	2	5	7
Почвогрунт универсальный «Terra Vita»	40,1	76,2	89,7
«Биогумус uTerra»	65,3	97,8	98,5
Улиточный зоогумус	66,8	96,7	97,3

На 15-й день выращивания салата посевы проредили, оставив одинаковое количество растений во всех вариантах. К 30-му дню выращенную биомассу взвесели и определили, что на органическом удобрении, полученном в процессе жизнедеятельности *A. immaculata*, выход салата по массе составил на 4,3 % больше по сравнению с салатом, выращенном на почвогрунте «Terra Vita». На вермикомпосте масса салата была несколько больше (на 1,7 % по сравнению с улиточным зоогумусом).

Выводы. В процессе жизнедеятельности легочных улиток рода Achatina на субстрате из торфа верхового нейтрализованного получается зоогумус, содержащий биогенные элементы (N, P, K, Ca, Mg), соли гуминовых кислот, органическое вещество, необходимые для роста

и развития растений. Всхожесть салата, выращенного на улиточном зоокомпосте, энергия прорастания и его конечная биомасса оказались выше по сравнению с использованием универсального почвогрунта «Terra Vita», хотя и несколько уступали удобрению органическому «Биогумус uTerra». Всё это даёт возможность рассматривать улиточный зоогумус в качестве органического удобрения.

Библиографические ссылки

1. Влияние систематического внесения минеральных удобрений и длительного последействия известкования на органическое вещество светло-серой лесной почвы [Электронный ресурс] / Н. А. Кодочилова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(2). С. 160-168. URL https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.160-168 (дата обращения: 21.02.2025).

2. *Бызов Б. А.* Зоомикробные взаимодействия в почве : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.27, 03.00.07 / Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН : Москва, 2003. 312 с.

3. *Темрешев И. И.* Дополнительные сведения о мезофауне почв полей кормовых культур ТОО «Байсерке агро» // Наука, производство, бизнес: современное состояние и пути инновационного развития аграрного сектора на примере Агрохолдинга «Байсерке-Агро» : материалы МЕЖДУНАР. науч.-практ. конф., Алматы, 4-5 апреля 2019 г. Т. 2. С. 140–147.

4. Antimicrobial properties of mucus from the brown garden snail Helix aspersa / S. J. Pitt [et al.] // British Journal of Biomedical Science. 2015. Vol. 72, Iss. 4. P. 174-181.

5. Determination of antimicrobial activity of Achatina reticulata slime / Chmelař D [et al.] // Epidemiol Mikrobiol Imunol. 2019 Vol.68. Iss. 2. P. 65-70.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИЧИНОК *ZOPHOBAS MORIO* ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИСТИРОЛА

Н. В. Жешко

ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная 33
220014, г Минск, Беларусь, n.zheshko@unitsky.com

Ввиду высокой стабильности полистирол способен длительное время сохраняться в природе. Его утилизация позволяет значительно уменьшить нагрузку на окружающую среду. В статье рассматривается возможность личинок *Zophobas morio* потреблять полистирол в качестве корма длительное время. Приводятся показатели выживаемости, изменения живой массы личинок, оценка их дальнейшей способности превращаться в куколку и имаго. Определена скорость поедания полистирола, его усвояемость личинками зофобаса.

Ключевые слова: личинки *Zophobas morio*; полистирол; поедаемость.

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING *ZOPHOBAS MORIO* LARVAE FOR POLYSTYRENE UTILIZATION

N. V. Zheshko

Unitsky String Technologies Inc., Zheleznodorozhnaya str. 33
220014, Minsk, Republic of Belarus, n.zheshko@unitsky.com

Due to its high stability, polystyrene can be preserved in nature for a long time. Its utilization allows to significantly reduce the load on the environment. The article considers the ability of *Zophobas morio* larvae to consume polystyrene as food for a long time. Survival rates, changes in larval body weight, an assessment of their further ability to turn into a pupa and imago are given. The rate and quantity of polystyrene consumption, its digestibility by zophobas larvae are determined.

Keywords: *Zophobas morio* larvae; polystyrene; palatability.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-60-63

Введение. На сегодняшний день производство пластика является неотъемлемой частью мировой экономики [1]. Химические и механические свойства пластика позволяют использовать его в различных сферах деятельности человека. Одним из наиболее распространенных полимеров в мире является прочный термопластичный полистирол, на долю которого приходится до 7–10 % от общего объема производства неволокнистого пластика [2]. Среди различных типов полистирола наиболее широко используется в потребительских товарах пенополистирол, так как обладает рядом полезных свойств: низкой стоимостью, малым весом, простотой производства, универсальностью, тепловой эффективностью, долговечностью и влагостойкостью [3]. Полистирол, как и другие пластики, очень стабилен и сохраняется в природе в течение десятилетий и может потенциально нанести вред дикой природе, а затем и людям [2; 3; 4]. Основным способом его утилизации является механическое измельчение, сжигание и пиролиз. Микробная биодеградация полистирола малоэффективна [5]. Некоторые микробные изоляты могут использовать его в качестве источника углерода, хотя и медленными темпами [6]. В последнее время сообщается о некоторых насекомых, которые могут поедать пластик: мучной хрущак (*Tenebrio molitor*), большая восковая огневка (*Galleria mellonella*), зофобас (*Zophobas morio*) [1; 7; 8]. Насекомые своим мощным ротовым аппаратом способны измельчать пластик, а в их пищеварительном тракте происходит его дальнейшая биодеструкция с помощью микробиома кишечника [1].

Методика исследований. Целью исследования являлось определение возможности использования личинок *Zophobas morio* для утилизации полистирола. В качестве объекта исследования использовались личинки *Z. morio*.

Личинки *Z. morio* субадультного возраста, практически готовые к окукливанию (3-3,5 месяца), средней массой 0,75 г содержались в ёмкостях объёмом 1 л при температуре +25 – +27 °С и влажности 60–70 %.

В процессе опыта были сформированы 7 групп личинок зофобаса по 20 особей в каждой. В 1, 2, 3 группах в качестве корма и субстрата использовался пенополистирол. В 4 и 5 группах личинки развивались на овсяных хлопьях с добавлением моркови. Зофобасы 6 и 7 групп содержались на голодной диете (табл.). Вода разбрызгивалась из пульверизатора на субстрат ежедневно. Перед закладкой опыта все личинки выдерживались 2 суток без корма. Длительность опыта составила 11 недель.

Таблица

Схема опыта

Группа		Состав субстрата	Количество личинок, шт
Опытная	1	полистирол 3 г	20
	2	полистирол 3 г	20
	3	полистирол 3 г	20
Контрольная	4	овсяные хлопья, морковь	20
	5	овсяные хлопья, морковь	20
Контрольная	6	-	20
	7	-	20

В процессе проведения эксперимента наблюдали за ростом и развитием личинок с помощью их взвешивания и подсчёта 1 раз в неделю, также проводился учёт несъеденного полистирола и экскрементов личинок. Показатели выживаемости, массы и количества съеденного пластика определялись в среднем по каждому блоку групп. После завершения кормления личинок сажали на окукливание, определяли процент выхода куколок и жуков.

Результаты собственных исследований. На протяжении опыта оценивалась выживаемость личинок *Z. morio* во всех группах. Следует отметить, что к концу эксперимента ни в одной из групп не осталось начального количества личинок (рис. 1).

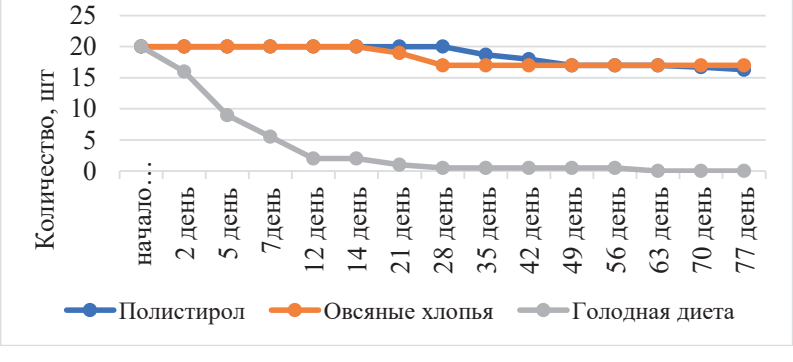


Рис. 1. Выживаемость личинок *Zophobas morio*

Так, с 1-й по 5-ю группу среди зофобасов наблюдался каннибализм. В 6-й и 7-й группах, наряду с поеданием друг друга, личинки гибли от недостатка питания. В 1-й группе одна личинка к концу опыта окуклилась. Наиболее интенсивная гибель личинок наблюдалась в груп-

пах с голодной диетой, уже к 28-му дню в двух группах осталась одна особь. Гибель личинок, содержащихся на овсяных хлопьях, началась после 14-го дня, а зофобасов на полистироле – после 28-го дня эксперимента. К концу исследования в опытных группах осталось 81,5 % особей, в контрольных на овсянке – 85 %, все личинки, содержащиеся на голодной диете, погибли.

Живая масса личинок также претерпевала изменения в процессе проведения опыта (рис. 2).

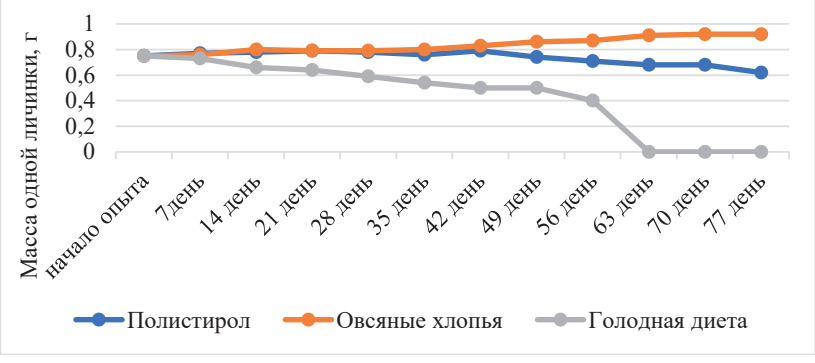
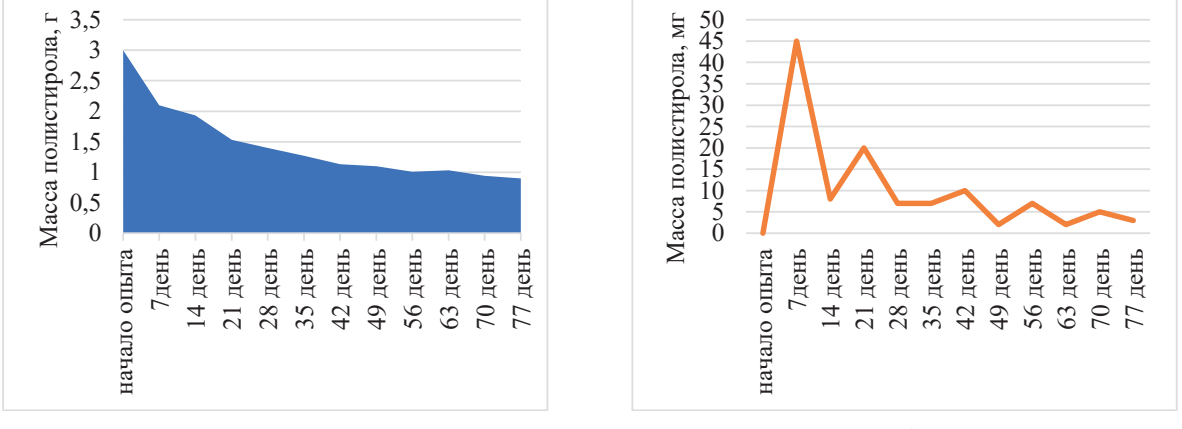


Рис. 2. Динамика массы личинок Z. morio

До 28-го дня личинки на полистироле и овсянке прирастали в массе практически одинаково, далее у опытных групп начиналось снижение живой массы, достигая 82,7 % к концу опыта от начальной массы, а у контрольных групп – прирост, который к концу эксперимента составил 22,7 % к начальной массе одной личинки. По отношению к контролю разница в живой массе одной личинки на полистироле составила 32,6 %. У зофобасов на голодной диете наблюдалась значительная потеря живой массы личинок, что составило 53,3 % от начального значения.



а *б*

Рис. 3. Поедание полистирола личинками Z. morio: *а* - динамика уменьшения массы полистирола на протяжении опыта; *б* – динамика количества полистирола, съеденного одной личинкой Z. morio за одну неделю

За время опыта масса полистирола (3 г) в опытных группах уменьшилась в среднем на 2,10 г, достигнув к концу эксперимента 30 % от начального значения (рис. 3). Среднее количество полистирола, съедаемого за 1 неделю одной личинкой зофобаса составило 7 мг. При этом наиболее интенсивно зофобасы поедали полистирол в первые шесть недель опыта (в среднем 16,2 мг в неделю на одну личинку), во вторую половину эксперимента этот показатель уменьшился до 3,8 мг (рис 4). Наибольшее количество пластика личинки съели в первую неделю исследования (45 мг на одну личинку), что может быть связано с предварительным выдерживанием их на голодной диете.

Количество продуктов жизнедеятельности в среднем на одну опытную группу составило к концу опыта 1,98 г. Экскременты личинок, поедающих полистирол, отличались светло-серым цветом по сравнению с тёмно-серыми продуктами жизнедеятельности особей контрольных групп. По-видимому, большая часть полистирола выделялась с фекалиями. Таким образом, только небольшое количество полистирола (в среднем 0,12 г на группу или 5,7 % от потреблённого количества) можно условно считать усвоенным личинками зофобаса к концу опыта.

После завершения кормления личинок *Z. morio* посадили на окукливание в индивидуальные ёмкости. Окукливание у личинок всех групп происходило практически одновременно, а жуки из куколок начали выходить в опытных группах на 5 дней раньше, чем в контроле. Процент выхода куколок из личинок и жуков из куколок для контрольных групп, содержащихся на овсяных хлопьях, составил 100 %. В группах зофобасов на полистирольной диете процент окукливания составил в среднем 75,3 %, в жуков превратилось 93 % из оставшегося количества куколок (часть куколок погибла). Таким образом, из личинок, которым скармливали полистирол, в имагинальную стадию перешло в среднем 69,8 % особей. По-видимому, части зофобасов не хватило питательных веществ, накопленных в личиночную стадию, чтобы завершить цикл развития.

Выводы. Личинки *Z. morio* субадультного возраста способны употреблять полистирол при отсутствии другой привычной для них пищи. При этом в течении первого месяца зофобасы активно поедают пластик и немного прирастают в массе. Однако более длительное содержание личинок зофобаса на полистироловой диете приводит к снижению поедаемости ими пластика, потере массы и гибели вследствие каннибализма. Большая часть полистирола, съеденного личинками, выделяется с экскрементами, его усвояемость не превышает 5,7 %. В среднем 30,2 % личинок, содержащихся на полистирольной диете, не могут завершить свой цикл развития.

Библиографические ссылки

1. Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (Zophobas morio) microbiome in styrofoam feeding trials [Electronic resource] / J. Sun [et al] // Microbial Genomics. 2022. Vol. 8, Iss. 6. URL: https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/mgen/10.1099/mgen.0.000842 (дата обращения: 05.02.2025). (статья в электронном журнале, более 3 авторов)

2. Microplastic Pollution: An Emerging Threat to Terrestrial Plants and Insights into Its Remediation Strategies [Electronic resource] / Arpna Kumari [et al] // Plants. 2022. Vol.11(3). URL: https://doi.org/10.3390/plants11030340 (дата обращения: 05.02.2025). (статья в электронном журнале, более 3 авторов)

3. *Ba Thanh Ho, Timothy K. R., Steven L. Ho.* An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach // Crit Rev Biotechnol. 2018. Vol 38(2). P. 308–320. (статья в печатном журнале, 3 автора)

4. Are Microplastics Toxic? A Review from Eco-Toxicity to Effects on the Gut Microbiota [Electronic resource] / H Niu [et al] // Metabolites. 2023. Vol 13(6). URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10304106/ (дата обращения: 05.02.2025). (статья в электронном журнале, более 3 авторов)

5. Biodegradation of weathered polystyrene films in seawater microcosms [Electronic resource] / E Syranidou [et al] // Sci Rep. 2017. Vol. 7. URL: https://doi.org/10.1038/s41598-017-18366-y (дата обращения: 05.02.2025). (статья в электронном журнале, более 3 авторов)

6. *Sielicki M., Focht D. D., Martin J. P.* Microbial degradation of [14C]polystyrene and 1,3-diphenylbutane // Canadian Journal of Microbiology. 1978. Vol. 24(7). P. 798-803. (статья в печатном журнале, 3 автора)

7. Колесников Я. В. Оценка эффективности насекомых в биодеградации лигнифицированной биомассы и пенополистирола : магистерская диссертация : 06.04.01 [Электронный ресурс] / СФУ, Красноярск, 2021. URL: https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/143709 (дата обращения: 05.02.2025). (электронный ресурс, диссертация)

8. *Ланской Н.* Пожиратели полимеров. В самом ли деле животные умеют переваривать пластик? [Электронный ресурс] / Н Ланской // Научная Россия. URL: https://scientificrussia.ru/ (дата обращения: 05.02.2025). (статья на сайте, с автором, сайт с названием)

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В УЧЕБНОЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ХИМИИ И БИОЛОГИИ

Н. В. Жукова[1)], **О. В. Кукушкина**[1)]

[1)] *ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», Институт естествознания и спортивных технологий, ул. Чечулина, 1, 105568, г. Москва, Россия, zhukovanv@mgpu.ru*

В статье представлено описание направлений деятельности студентов педагогического вуза, обучающихся по естественно-научным профилям подготовки, связанное с проведением и организацией мониторинга состояния окружающей среды города Москвы. Определена важность такого вида деятельности в формировании профессиональных компетенций учителей биологии и химии и повышения уровня экологической грамотности населения. В материалах статьи представлены наиболее важные результаты студенческих исследований, которые позволяют делать выводы о состоянии окружающей среды города Москвы и уровне антропогенной нагрузки данного региона (прежде всего состояния воды малых рек и почвы).

Ключевые слова: экологические проблемы, мониторинг состояния окружающей среды, физико-химические методы анализа, антропогенная нагрузка на окружающую среду, исследовательская деятельность студентов.

ANALYSIS OF STATE OF ENVIRONMENT IN EDUCATIONAL AND RESEARCH ACTIVITIES OF FUTURE TEACHERS OF CHEMISTRY AND BIOLOGY

N. V. Zhukova, O. V. Kukushkina

Moscow City University, Institute of Natural Science and Sports Technologies, Chechulina St., 1 105568, Moscow, Russia, zhukovanv@mgpu.ru

The article describes the areas of activity of students of a pedagogical university studying in natural science profiles of training, related to the implementation and organization of environmental monitoring in the city of Moscow. The importance of this type of activity in the formation of professional competencies of teachers of biology and chemistry, as well as in increasing the environmental literacy of the population, is emphasized. The materials of the article present the most important results of students' research, which allow us to draw conclusions about the state of the environment of the city of Moscow and the level of anthropogenic load in this region (primarily concerning the state of water in small rivers and soil).

Keywords: environmental issues, environmental monitoring, physical and chemical methods of analysis, anthropogenic load on the environment, students' research activities.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-64-68

Антропогенная нагрузка, особенно в мегаполисах возрастает с каждым годом. Поэтому, в задачах человечества в целом и отдельных сообществ (государств, объединений, регионов) в частности, стоит организация мониторинга состояния окружающей среды. Особенно это актуально в связи с достижением отдельных целей Концепции устойчивого развития, которой сегодня придерживаются большинство развитых государств. Мониторинг состояния

окружающей среды и прогноз дальнейшего развития событий при сохранении или увеличении антропогенной нагрузки организуется во многих странах (в том числе и в России) на различных уровнях: локальном, региональном и глобальном [1]. В связи с этим встаёт вопрос о том, нужно ли вовлекать в эту деятельность обучающихся школ и студентов вузов. И если да, то с какой целью?

Уменьшение антропогенной нагрузки и экологическое благополучие невозможно достичь при низкой экологической ответственности широких масс населения и низким уровнем сформированности экологической культуры. Формирование экологической культуры – это зона ответственности людей, занимающихся экологическим образованием и просвещением [2]. В первую очередь этими вопросами занимаются учителя биологии, химии, экологии, а также педагоги дополнительного естественно-научного и экологического образования (в том числе сотрудники экологических центров, природоохранных организаций). Следовательно, формирование профессиональных компетенций будущих учителей биологии и химии, позволяющих выполнять эколого-просветительскую функцию, является необходимым компонентом образовательного процесса педагогического вуза.

Главным вузом Москвы, который выполняет заказ департамента науки и образования города, является Московский городской педагогический университет. В его стенах ведется подготовка учителей химии и биологии для школ и техникумов Москвы. Образовательная программа направления подготовки «Педагогического образования» является двух профильной (уровень бакалавриат) – биология, химия. Согласно содержанию образовательной программы, формирования экологических знаний и умений вести эколого-просветительскую деятельность происходит при выполнении различных видов деятельности:

– *Теоретическое обучение* (обучение по экологическим дисциплинам модулей «Биология» и «Химия»; изучение отдельных тем с экологическим содержанием иных дисциплин; особенностей изучения экологии и экологическим тем школьных курсов биологии и химии в рамках дисциплин модуля «Методика обучения и воспитания»).

– *Практическое подготовка* (практические занятия по экологическим дисциплинам модулей «Биология» и «Химия»; практические занятия по дисциплинам модуля «Методика обучения и воспитания»; выполнение заданий полевой практики; выполнение задания «Культура общения с живой природой в условиях мегаполиса» социокультурной практики; проведение уроков и организация внеурочной деятельности по экологии, биологии и химии в рамках выполнения заданий педагогической практики).

– *Исследовательская деятельность* (проведение исследований, направленных на изучение экологии, состояния окружающей среды в рамках выполнения заданий научно-исследовательской практики и подготовки выпускной квалификационной работы).

– *Волонтерская деятельность* (вовлечение студентов в организацию научных мероприятий экологической направленности; участие студентов в организации практикумов, экспериментаримумов и мастер-классов для школьников; привлечение студентов в качестве кураторов исследовательских групп школьников, выполняющих исследовательские и проектные работы на базе вуза).

– *Внеучебная деятельность* (участие студентов в работе проектных групп (временных научных команд), выполняющих исследования экологической направленности; экскурсии на предприятия и организации из числа индустриальных партнеров; участие в работе студенческих объединений).

Для повышения эффективности образовательного процесса применяются разнообразные форматы, методы, приемы обучения (рис. 1).

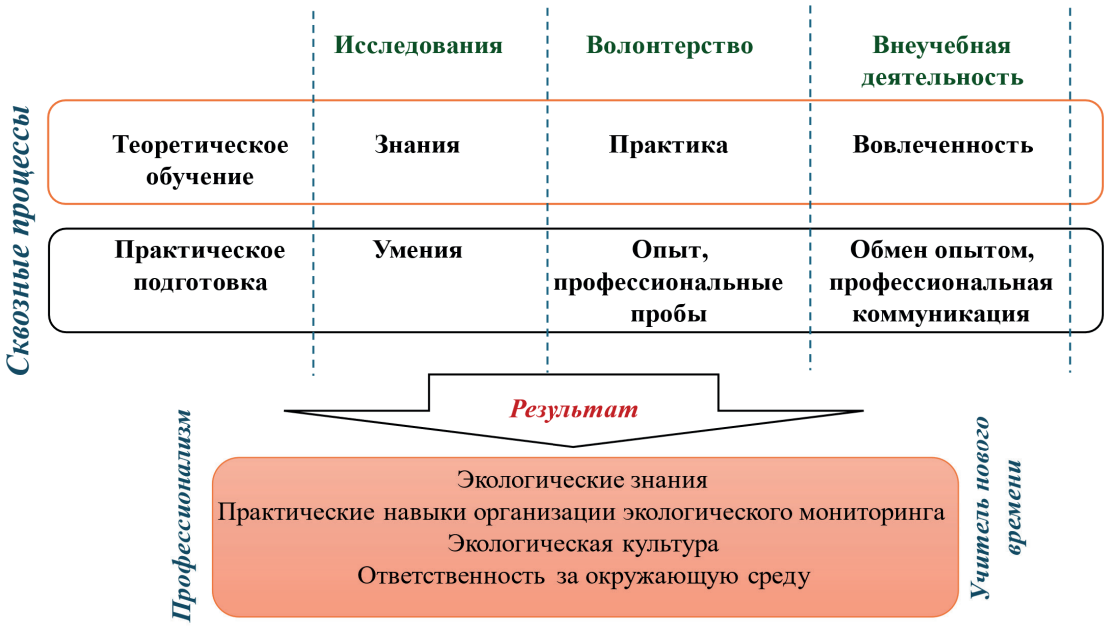


Рис. 1. Роль компонентов образовательной деятельности в формировании экологической образованности студентов

Особое внимание уделяется формированию умений проводить анализ состояния окружающей среды [3]. С этой целью студенты во время теоретического обучения осваивают химические, физико-химические методы анализа, а также методы биотестирования и биоиндикации. Практические навыки отрабатываются во время практической подготовки и выполнения научных исследований. Апробация результатов проходит во время выступлений с докладами на научных конференциях, участия в конкурсах научных работ, а также публикации научных статей. Тематика исследований и проектов разнообразна, но большей частью посвящена установлению уровня загрязнения почвы, воздуха и воды в Москве и Московской области. Исследования проводятся по инициативе самих студентов, преподавателей вуза или работодателей.

Приведем примеры результатов студенческих исследований, проведенных в разных видах деятельности.

В рамках занятий по аналитической химии и физиологии растений студентам предлагается выполнить междисциплинарный кейс по изучению состава и свойств почвенных кондиционеров, используемых для проращивания газонной травы. В качестве объекта исследования был использован кресс-салат. Состав почвенного кондиционера и содержание нитрит-ионов в растениях определялось химическими и физико-химическими методами. В результате студентами было выявлено, что концентрация почвенного кондиционера на прямую влияет на прорастание и на рост растений. Чем выше концентрация, тем больше семян прорастают и тем больше высота надземной части растения кресс-салата. При использовании рекомендуемой производителем концентрации почвенного кондиционера обнаруживается содержание нитрит-ионов составляет примерно 0,01 моль/л. С увеличением концентрации почвенного кондиционера содержание нитритов в зеленых частях растений увеличивается. Проведенный учебный эксперимент нашел продолжение в формате исследовательского эксперимента, который был направлен на выявление возможности использования почвенных кондиционеров для выращивания овощных культур в открытом грунте. В результате студенческой исследовательской группой, в состав которой входили и школьники (участники городского образовательного проекта «Естественно-научная вертикаль»), был разработан алгоритм использования почвенных кондиционеров для выращивания репчатого лука, укропа и петрушки в открытом грун-

те, который позволяет повысить урожайность и не вызывает накопление нитритов и нитратов в зеленых частях растений.

В рамках проведения исследований в ходе научно-исследовательской практики студенты определяют химический состав и физико-химические свойства почвы, воды (малых рек региона) и осадков на территориях, имеющих высокую антропогенную нагрузку. Наиболее полное и комплексное исследование было связано с анализом и оценкой качества воды реки Пехорка и почвы, отобранной на установленных участках в районе полигона ТБО «Кучино». Оценка экологического состояния почвенного покрова и воды реки Пехорка в районе ТБО «Кучино» была проведена методами качественного и количественного физико-химического анализа, а также биоиндикацией. Полученные данные свидетельствуют о существенном загрязнении исследуемого района с увеличением содержания поллютантов на территории максимально приближенной к полигону. Вода имеет слабокислый показатель pH, содержит хлориды, нитриты и сульфаты, в некоторых образцах обнаружены ионы железа и сульфид-ионы. Некоторые образцы воды имеют повышенную минерализацию, что было обнаружено путем определения массы сухого остатка. Все образцы воды и почвы, изученные с помощью метода биоиндикации (образов воды с помощью дафний и почвы с помощью кресс-салата), показали высокую токсичность. Дафнии на протяжении эксперимента показали нетипичное поведение в сравнение с контролем, а кресс-салат имел дисгармоничное развитие. Многолетние наблюдения за качеством водных и почвенных ресурсов на изучаемой территории показывают, что положительная динамика в улучшении экологической обстановки не наблюдается. Вода реки Пехорка и почва в районе расположения ТБО «Кучино» не пригодны для бытовых нужд и сельскохозяйственных целей. Результаты проведенных исследований были опубликованы в материалах научной конференции и статьи в научном журнале.

Методы биоиндикацию студентами осваиваются в рамках полевой практики по экологии. Обязательным заданием практики является определение состояния особо охраняемых территорий Москвы и Московской области методами биоиндикации (лихеноиндикация; оценка качества воздуха по состоянию хвои Pinus sylvestris; метод флуктуирующей асимметрии растений; метод оценки сапробности; определение степени загрязнения водоема по видовому разнообразию макрофитов и др.). По итогам практик составляется «карта» экологического благополучия урбанизированной территории, которая пополняется новыми данными каждый год. По результатам практики студенты на теоретических занятиях по «экологии» и «мониторингу состояния окружающей среды» анализируют динамику изменения экологического состояния, делаю прогнозы и выводы. Все это способствует не только формированию профессиональных компетенций будущих учителей биологии и химии, но и привитию ответственного отношения к окружающей среде.

Приобретенные умения по анализу состояния окружающей среды студенты отрабатывают во время производственной (педагогической) практики. В задачи практики входит не только проведение уроков (по химии и биологии), но и организация исследовательской и проектной деятельности обучающихся (данный вид деятельности школьников сейчас является обязательным), а также подготовка к участию в конкурсах и олимпиадах. При этом зачастую заинтересованные школьники становятся активными участниками тематических образовательных событий, которые проводятся на базе вуза с постоянной регулярностью. Результаты такой работы освещаются в рубриках на официальных сайтах вуза и школы, а также в группах социальных сетей (в первую очередь страницах студенческих объединений).

Таким образом, всестороннее вовлечение студентов педагогического вуза с использованием различных компонентов образовательного процесса в организацию мониторинга состояния окружающей среды, обеспечивает формирование экологической культуры и экологической образованности не только самих студентов, но и иных категорий горожан (учащихся школ, педагогов, родителей).

Библиографические ссылки

1. *Маслова И. А.* Экологический мониторинг территорий, цели устойчивого развития // Предпринимательство, маркетинг и логистика в цифровой экономике. В сборнике : Материалы Всероссийской конференции. Редколлегия: И.Р. Ляпина [и др.]. Орел, 2023. С. 251-257.

2. *Лебедева М. Ю.* Экологическое воспитание как одна из составляющих образования в целях устойчивого развития // Экологическое равновесие: геоэкология, краеведение, туризм : Материалы XI Международной научно-практической конференции : сб. науч. ст. Санкт-Петербург, 2023. С. 114-117.

3. *Подковырова М. А., Майер Д. В., Долгих М. В.* Основы формирования покомпонентного экологического мониторинга для целей устойчивого развития территории крупного города // Современные проблемы земельно-имущественных отношений, урбанизации территории и формирования комфортной городской среды : сборник докладов Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2024. С. 202-207.

ВЕБ И ГИС ТЕХНОЛОГИИ, КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК И ЭФФЕКТОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В СОЧЕТАНИИ СО СТРЕССОМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА БИОТУ В ЗОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В. В. Журавков[1)], **Б. А. Тонконогов**[1)], **Н. Н. Цыбулько**[1)], **Е. В. Журавков**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, д. 23 / 1, 220070, г. Минск, Беларусь, zhuravkov@iseu.by*

В работе рассмотрена реализация условий для создания пилотного проекта прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы для совершенствования комплекса радиационной защиты населения и объектов окружающей среды на различных региональных уровнях, а также архитектура, функциональность и модель данных Web-ориентированной информационно-аналитической системы при оценке дозовых нагрузок и эффектов ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система; антропогенные факторы; региональные уровни; радиационная защита населения; дозовые нагрузки; архитектура; модель данных.

WEB AND GIS TECHNOLOGIES AS AN ELEMENT OF DECISION MAKING SYSTEM WHEN ASSESSING DOSE LOADS AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION IN COMBINATION WITH STRESS OF DIFFERENT NATURES ON BIOTA IN THE ZONE OF CHRONIC RADIATION IMPACTS

V. V. Zhuravkov[1)], **B. A. Tonkonogov**[1)], **M. M. Tsybulka**[1)], **E. V. Zhuravkov**[1)]

[1)] *«International Sakharov Environmental Institute» of Belarusian State University, Dolgobrodskaya St., 23 / 1, 220070, Minsk, Republic of Belarus, zhuravkov@iseu.by*

The paper examines the implementation of conditions for creating a pilot project of an applied Web-based information and analytical system aimed at improving the complex of radiation protection of the population and environmental objects at various regional levels, as well as the architecture, functionality and data model of a Web-based information and analytical system for assessing dose loads and effects of ionizing radiation in combination with stress of various natures on biota in the zone of chronic radiation exposure.

Keywords: information and analytical system; anthropogenic factors; regional levels; radiation protection of the population; dose loads; architecture; data model.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-69-73

При оценке различных ситуаций, связанных с решением задач по совершенствованию системы радиационной защиты населения и объектов окружающей среды, используются расчетные данные по оценке доз облучения на основные компоненты биогеоценоза, поэтому информационная подготовка занимает достаточно много времени, а информационно-аналитические системы в состоянии должны быстро предоставить информацию и обеспечить нахождение эффективных методов регулирования. При оценке дозовых нагрузок и эффектов ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия, решения не могут быть смоделированы в явном виде, однако основой для их принятия может служить большой объем разнообразной информации, хранимой

и передаваемой интегрированной базой данных. По предоставленным результатам управленческий персонал на основе своего опыта и методом экспертного анализа может принять конкретные решения для проведения мероприятий по радиационной защите населения и объектов окружающей среды на различных региональных уровнях.

В работе представлены новые архитектура и оптимизированная реляционная структура данных, состоящая из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях, реализующая методы и модели для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале и анализе антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях и базирующаяся на геоинформационных технологиях. Указанные разработки являются основой для создания прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях и оценке дозовых нагрузок и эффектов ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия [1].

Основные возможности, предоставляемые пользователям разрабатываемой информационно-аналитической системы [2]:

– работа с интерактивной электронной картой (манипулирование слоями, перемещение и масштабирование, удаление и добавление объектов и так далее);

– вывод в заданном виде любых объектов территории и объектов определенного класса с соответствующей атрибутивной информацией о них;

– обработка информации статистическими методами и отображение результатов такого анализа непосредственным наложением на карту или в другой форме визуализации (таблицы, графические зависимости, гистограммы и так далее);

– подготовка расчетных данных для проведения мероприятий радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения на основе моделирования радиоэкологических процессов и оценки радиоэкологических рисков.

В рамках разработки архитектуры Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях определены общий архитектурный стиль и основные архитектурные решения, связанные с организацией совокупности элементов и компонентов и функционированием программных модулей системы. Описаны основные роли и характеристики структурных элементов, а также возможные виды взаимодействий между ними.

Архитектура информационно-аналитической системы предполагает реализацию следующих аспектов [3]:

– технология обработки данных – локальное взаимодействие с интегрированной базой данных, то есть все данные будут храниться на одном сервере под управлением одной системы управления базами данных, а не распределенным образом, так как многие проекты распределенных баз данных характеризуются определенными проблемами в вопросах стандартизации информационных потоков, типов, представления данных и метаданных и совместимости отдельных информационных систем и проектов, созданных разными организациями с применением различного программного обеспечения;

– способ доступа к данным – локальный и удаленный (сетевой) доступ с разграничением прав пользователей и поддержкой клиент-серверных технологий.

Также архитектура системы предполагает модульную декомпозицию. В этой связи целесообразно разделение интерфейсной части системы и части, отвечающей за работу с данными.

Проектирование прототипа информационно-аналитической системы предполагало то, что она будет включать в себя следующие основные архитектурные компоненты и функциональ-

ные программные модули: разграничения прав пользователей; взаимодействия с базой данных; сбора и обработки пространственных данных; хранения и защиты пространственных данных; аналитической обработки данных; представления и визуализации данных; импорта / экспорта, конвертации и парсинга данных и другие.

Указанный набор программного обеспечения позволит на основе полученной информации [4]: классифицировать и кластеризировать соответствующие данные для дальнейшего создания различного картографического содержимого в виде различных картографических слоев с различной визуализацией содержимого разных типов данных; реализовать дополнительные сервисы для обработки и представления данных; производить аналитические (статистические) вычисления различного рода для дальнейшего использования, в частности, в составе картографического содержимого.

В основные задачи разрабатываемой Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для совершенствования компонентов радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения на основе моделирования радиоэкологических процессов на различных региональных уровнях входят предоставление и анализ во времени данных о результатах:

– воздействия человеческой деятельности на живые организмы;

– воздействия на живые организмы через изменение людьми их среды обитания;

– естественного изменения различных качественных и количественных природных величин и характеристик.

Указанные особенности системы направлены на повышение уровня информированности населения о различных аспектах состояния окружающей среды и возможности принятия своевременных управленческих решений на различных региональных (территориальных) уровнях.

В этой связи база данных, входящая в состав разрабатываемой информационно-аналитической системы, должна содержать или иметь возможность манипулировать с различными данными о: различных географических (природных) объектах; результатах наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земель и параметрами радиационной обстановки; результатах радиационного мониторинга окружающей среды, а также локального мониторинга, предоставляемых природопользователями; ресурсном потенциале и так далее.

Оптимизированная (нормализованная) реляционная структура (модель) данных включает в себя различные объекты базы данных в виде таблиц, содержащие поля с определенными типами данных для хранения параметров и информации о пространственных объектах и ресурсном потенциале, и связей (отношений) между этими таблицами и полями.

Заполнение базы данных сводится к заполнению определенных элементов информацией, которая впоследствии пересылается и обрабатывается хранимой процедурой на стороне сервера баз данных. Получив информацию, хранимая процедура проверяет данные на корректность ввода и, если есть нарушения, то возвращает код ошибки (коды ошибок определяются разработчиками системы), если же информация корректна, то данные добавляются в заданную таблицу.

Кроме добавления информации непосредственно в таблицы, хранимые процедуры позволяют производить первичную обработку информации, то есть проводить аналитическую обработку данных. Использование этих объектов позволяет ограничить участие пользователя в различных расчетах, а также скрыть определенные детали работы системы. Пользователю предоставляется уже обработанная информация в виде результатов проведенных расчетов или же при помощи графических средств отображения информации, таких как графики и диаграммы.

В основные задачи разработанных функциональных объектов базы данных Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для системы радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующе-

го облучения на различных региональных уровнях входят анализ (обработка) во времени данных о результатах:

– воздействия человеческой деятельности на живые организмы;

– воздействия на живые организмы через изменение людьми их среды обитания;

– естественного изменения различных качественных и количественных природных величин и характеристик.

В этой связи база данных, входящая в состав разрабатываемой информационно-аналитической системы, должна содержать или иметь возможность манипулировать с различными данными о:

– различных географических (природных) объектах;

– результатах наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земель и радиационного фона;

– результатах радиационного мониторинга окружающей среды и локального мониторинга, предоставляемых природопользователями;

– ресурсном потенциале и так далее.

Таким образом, созданы специальные хранилища данных с использованием объектно-ориентированной технологии для объектно-реляционного отображения, позволяющей связывать базы данных с концепциями объектно-ориентированных языков программирования с использованием подхода Database First, который позволяет по существующей базе данных сгенерировать модель для подключения к ней.

Пример графического пользовательского интерфейса и визуализации прототипа информационно-аналитической системы с результатами автоматизированного анализа антропогенных и природных факторов с использованием инструментария географических информационных систем, специализированных программных веб-интерфейсов и приложений, которые будут использованы в дальнейших разработках, представлен на рис. 1.

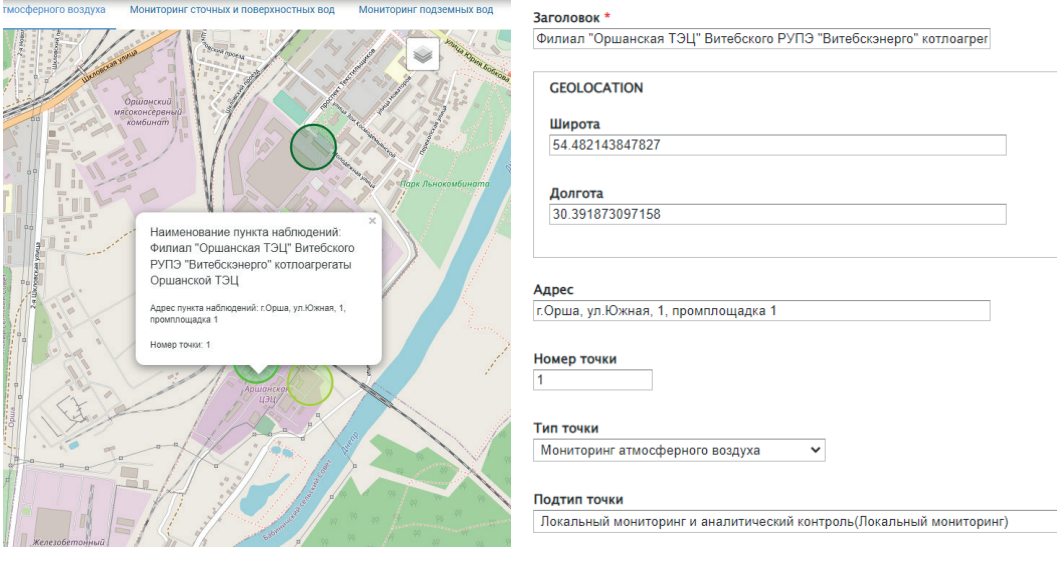


Рис. 1. Пример графического пользовательского интерфейса системы

Разработанная архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для организации системы защиты населения и объектов окружающей среды при ретроспективном и прогнозном моделировании радиационной обстановки позволяет визуализировать данные о загрязнении территорий Республики Беларусь основными дозообразующими радионуклидами, а именно ^{131}I, ^{134}Cs, ^{136}Cs, ^{137}Cs, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{239}Np, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{140}Ba, ^{140}La, ^{144}Ce, ^{239} Pu, ^{240} Pu, ^{241}Pu, ^{241}Am и т.д. и на этой основе провести оценки до-

зовых нагрузок на основные компоненты биогеоценозов, в частности на население, проживающее в наиболее загрязненных районах Республики Беларусь (рис. 2) [5]. Анализ данных рис. 2 определяет области и районы Республики Беларусь, которые в результате аварии на Чернобыльской АЭС подверглись радиоактивному загрязнению и населению, проживающему именно в этих районах страны в будущем необходимо уделять повышенное внимание при медицинском обследовании [5].

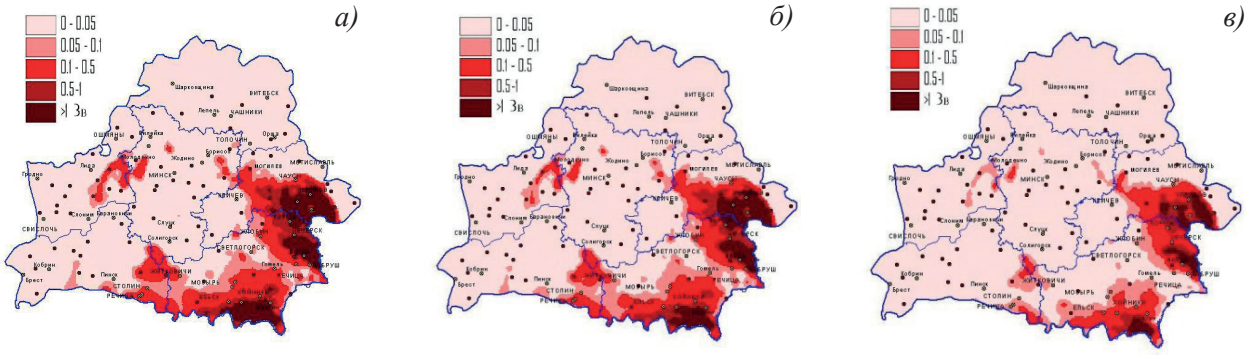


Рис. 2. Среднегрупповая доза от йода-131 на щитовидную железу в 1986 г.:
а) дети до 5 лет; *б)* подростки от 5 до 17 лет; *в)* взрослые от 17 лет

Данная работа подготовлена в рамках выполнения диссертационного исследования по теме «Совершенствование системы радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения на основе моделирования радиоэкологических процессов».

Библиографические ссылки

1. *Zhuravkov V. V.* Development of a Web-oriented system for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors on the example of the Orshan region of the Republic of Belarus // Материалы II Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы науки и техники», ФГБОУВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», 19 - 21 мая 2022 г. Сарапул, 2022. С. 137 - 142.

2. *Маклафлин Б., Поллайс Г.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование. Д. Уэст. СПб.: Питер, 2018. 608 с.

3. Паттерны объектно-ориентированного проектирования / Гамма Э. [и др.]. СПб.: Питер, 2023. 448 с.

4. *Фауле М.* Шаблоны корпоративных приложений / М. Фауле. М.: Вильям, 2012. 544 с.

5. *Конопля Е. Ф., Миронов В. П., Журавков В. В.* Радиация и Чернобыль: Короткоживущие радионуклиды на территории Беларуси. Минск: Белорус. наука, 2008. 198 с.

THE DETERMINATION OF ELEMENT SURFACE WATER POLLUTION IN THE BUYUK MENDERES BASIN (TURKİYE)

N. Zeynalova[1)], F. Keskin[1)], M. Döndü[1)], A. Demirak[1)]

[1)] *Environmental Problems Research and Application Center, Mugla Sitki Kocman University, Mugla, 48000, Türkiye, ademirak@mu.edu.tr*

In this study, water samples were taken from 19 different points in the Büyük Menderes Basin under the effect of drought and the physicochemical parameters, total concentrations of elements P, K, B, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, As and Hg were measured. The analyses revealed that the region is at potential environmental risk due to metal pollution. The results of the metal analysis show that the Büyük Menderes River is under pressure from various pollutants, especially agricultural and industrial pollutants. Especially Hg and As pollution of industrial and agricultural origin pose a risk of increasing environmental toxicity in the basin.

Keywords: water pollution; Büyük Menderes basin; elements; pollutants.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ БУЮК-МЕНДЕРЕС (ТУРЦИЯ)

Н. Зейналова[1)], Ф. Кескин[1)], М. Дёндю[1)], А. Демирак[1)]

[1)] *Центр исследований и применения экологических проблем, Университет Мугла Ситки Коцман, Мугла, 48000, Турция, ademirak@mu.edu.tr*

В этом исследовании были взяты пробы воды из 19 различных точек в бассейне реки Бююк-Мендерес под воздействием засухи и измерены физико-химические параметры, общие концентрации элементов P, K, B, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, As и Hg. В результате анализов было установлено, что регион находится под потенциальным экологическим риском с точки зрения загрязнения металлами. Результаты анализа металлов показывают, что река Бююк-Мендерес находится под давлением многих загрязняющих веществ, особенно сельскохозяйственных и промышленных загрязняющих веществ. Особенно загрязнение ртутью и мышьяком промышленного и сельскохозяйственного происхождения представляет риск увеличения токсичности окружающей среды для бассейна.

Ключевые слова: загрязнение воды; бассейн Бююк-Мендерес; элементы; загрязняющие вещества.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-74-77

INTRODUCTION

Water is an indispensable resource for the continuity of vital activities [1]. However, due to population growth, anthropogenic activities and climate change, all resources, especially basins that provide water supply, have been in great danger in recent years [2,3]. In this direction, the main objectives of observing environmental parameters in natural resources are to evaluate the availability and quality of natural resources, control the frequency of pollution-oriented problems, identify environmental and public health risks and use them beneficially [4]

The aim of this study is to conduct a pollution assessment of the Büyük Menderes River Basin, one of the most important rivers of Turkey (584 km2), which is under the influence of point and non-point pollution sources such as agricultural activities, geothermal power plants, leather and textile industry, olive oil factories, mining, domestic and other industrial wastes, thermal power plants, boat use and fishing, by measuring the concentrations of P, K, B, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, As and Hg in water.

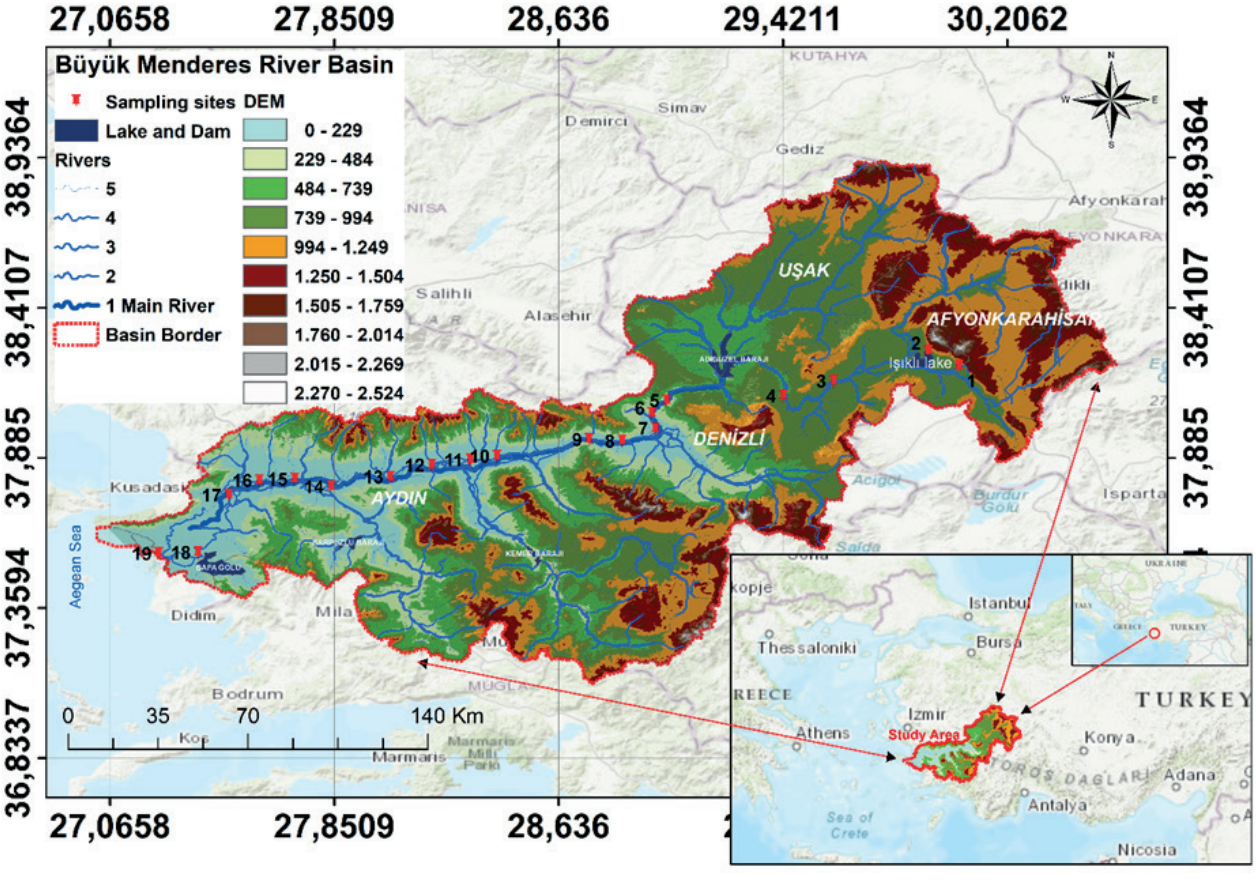
MATERIALS AND METHODS

The Büyük Menderes basin is located in the west of our country with a length of 584 km (figure). P, K, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, As and Hg analyses of water samples were performed with ICP-OES (inductively coupled plasma/optical emission spectroscopy) device at Muğla Sıtkı Koçman University Agricultural Application and Research Center. The analysis methods used in the study were selected in accordance with APHA Standard Methods, EPA Methods and matrices from current literature for water and wastewater analyses. Each sample was repeated 3 times and the average was taken and noted. The water analysis parameters and analysis methods used in the study are given in Table 1.

Table 1

Methods and parameters used in water analysis

Parameters	Methods	Reference Methods	Measurement range
Water temperature	Laboratory and field method	SM 2550 B	0-100 °C
pH	Electrometric method	SM 4500 H^+B	1-14
Dissolved oxygen	Optical probe	SM 4500-O H	0-50 mgL^{-1}
Conductivity	Laboratory and field method	SM 2510 B	0-200 mS/cm
Salinity	Laboratory and field method	SM 2520 B	0-70 ‰



Study area map, sampling points and digital elevation model
(Taken from the PhD thesis Nigar 2023: Investigation of the Effects of Climate Change on Metal Mobilization in the Büyük Menderes Basin)

RESULTS

The water temperature values of the basin vary between 16.6-25.9 oC, and the average value in the study area is 21.5 oC, pH values vary between 7.5-9.3, and the average value was measured as 8.3. Dissolved Oxygen values in the Büyük Menderes River vary between nd (not determined) -12.2 mgL-1, and the average value was determined as 6.84 mgL-1. Electrical conductivity values in the Büyük Menderes River are between 314-30208 µScm-1, and the average value is 3101 µScm-1. Salinity values are between 0.18-19.6 ‰, and the average value is determined as 1.86 ‰. The analysis results of the elements obtained in the study are given in Table 2.

Table 2

Results of element determination in water samples

Descriptive Statistics					
Elements	Unit	Min.	Max.	Average	Std. deflection
K	ppm	3,13	248,38	30,91	52,50
Ca	ppm	48,63	318,20	108,35	66,46
Mg	ppm	12,49	152,19	65,49	33,97
B	ppm	ND	2,42	1,84	0,67
Fe	ppm	ND	2,15	1,72	0,53
Cu	ppb	ND	38,32	12,5	10,61
Mn	ppb	1,56	769,08	194,97	186,24
Zn	ppb	ND	12,44	9,71	3,02
Cd	ppb	ND	ND	ND	ND
Pb	ppb	ND	ND	ND	ND
As	ppb	1,65	55,64	23,61	14,95
Hg	ppb	ND	47,54	27,7	10,30

ND: Not Determined, Min: Minimum, Mak: Maxsimum,

DISCUSSION AND CONCLUSION

In the studies conducted in the geothermal areas of the basin, Mn, Ca, Mg, B, Fe and As elements were found in high concentrations. In particular, As values were determined between ND-55.4 μgL^{-1}, while the average value was determined as 23.61 μgL^{-1}. Cu element was found to be more concentrated in areas close to agricultural areas, this is thought to be due to studies such as fertilization, chemical use and pesticide use. The fact that Zn increased more in rural and agricultural areas indicates that this element may have both agricultural and lithogenic properties. It is thought that Mn, Zn, Cu increased due to their use as pesticides in agricultural areas. Cd and Pb values of the Büyük Menderes River were determined as ND in all sampling stations. However, Hg values were determined between ND-46.8 μgL^{-1}, while the average value was determined as 27.7 μgL^{-1}.

In this study, the correlation results obtained for metals in water are given in Table 3. Significantly high positive and negative correlations between metals in water are marked in bold in the table. In this study, the Kruskal Wallis Test was used to examine whether there was a difference between the metals in water and the measurement stations. In the results obtained as a result of the examination, except for Cd and Pb ($p>0.05$), the distributions of other metals in the stations showed significant differences ($p=0.000$).

Table 3

Correlation results of elements in water

	K	Ca	Mg	B	Fe	Cu	Mn	Zn	As	Hg
K	1									
Ca	**0,51****	1								
Mg	**0,69****	**0,68****	1							
B	**0,72****	**0,59****	**0,91****	1						
Fe	0,08	-0,32*	0,15	0,19	1					
Cu	-0,01	-0,32*	-0,27*	-0,18	0,01	1				
Mn	0,30*	0,07	**0,53****	**0,52****	**0,69****	-0,12	1			
Zn	-0,19	**-0,55****	**-0,50****	**-0,53****	0,06	0,26	-0,23	1		
As	0,11	0,13	**0,46****	**0,45****	**0,65****	-0,32*	**0,81****	-0,17	1	
Hg	0,17	0,29*	0,28*	0,12	-0,13	0,03	0,17	0,19	**0,35****	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

As a result, it is seen that the basin is under intense pollution pressure. Therefore, since some ions, organic matter and particulate matter coming from pollutants can cause changes in the chemistry, especially in the physicochemical properties of sediments and soils, it can be said that water quality is quite effective in both the mobility and concentration of metals.

Bibliographic references

1. Seasonal assessment of the impact of fresh waters feeding the Bay of Gökova with water quality index (WQI) and comprehensive pollution index (CPI). Döndü M. [et al.] // Environmental Forensics, (2022). 1-13.
2. *Aksever F., Büyükşahin S.* Assessment of variations in water quality using statistical techniques: a case study of Işıklı Lake, Çivril/Denizli, Turkey. Arabian Journal of Geosciences. (2017). 10(6), 1-17.
3. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. Evans A.E. [et al.] //Current opinion in environmental sustainability, 36, 20-27.
4. A study of spatial and water quality index during dry and rainy seasons at Kelantan River Basin, Peninsular Malaysia. Abdul Maulud K.N. [et al.] //Arabian Journal of Geosciences, (2021) .14(2), 1-19.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ЗАКАЗНИКОВ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ЭТАЛОНОВ[1]

Н. Г. Зыкина

Удмуртский государственный университет, ул. Университетская, 1/1, 426034, г. Ижевск, Россия, г. Ижевск, ngzykina@yandex.ru

В статье рассматриваются особенности распространения типичных для региона почв на территориях государственных природных заказников Удмуртской республики. Значительная площадь и разнообразие почв в заказниках позволяет организовать в их границах охрану как целинных почвенных объектов, так и редких видов почв. Отмечаются заказники, пригодные для выделения эталонных естественных почв с целью включения их в Красную книгу почв Удмуртии.

Ключевые слова: охрана почв; особо охраняемые природные территории; эталоны почв; красная книга почв.

PROSPECTS FOR USING TERRITORIES OF STATE NATURE RESERVES OF THE UDMURT REPUBLIC FOR ALLOCATION OF SOIL STANDARDS

N. G. Zykina

Udmurt State University, 1/1 Universitetskaya St., 426034, Izhevsk, Russia, Izhevsk, ngzykina@yandex.ru

The article examines the distribution features of typical soils for the region on the territories of state nature reserves of the Udmurt Republic. The significant area and diversity of soils in the reserves allow organizing the protection of both virgin soil objects and rare soil types within their boundaries. Reserves that are suitable for identifying reference natural soils for inclusion in the Red Book of Soils of Udmurtia are noted.

Keywords: soil protection; specially protected natural areas; soil standards; Red Book of Soils.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-78-82

Формирование системы ООПТ во всем мире призвано сохранять разнообразие живых организмов, поддержать равновесие экологических систем и защитить уникальные природные объекты. В России (РФ) на конец 2023г количество ООПТ (без учета статистической информации по Донецкой Народной Республике, Луганской Народной Республике, Запорожской и Херсонской областям) составило 11,93 тыс. с общей площадью 244 млн. га (14 % от площади страны). Лидирующие позиции по числу ООПТ среди федеральных округов (ФО) занимают Центральный – 32,1 % и Приволжский ФО – 21,8 %, со значительным отрывом (минимум в 2,3 раза) от остальных. Однако площадь ООПТ в данных ФО намного меньше, чем в Дальневосточном (64,4 %) или Сибирском (12,1 %) округах [1]. Удмуртская республика входит в Приволжский федеральный округ (ПФО), и в сравнении с другими субъектами ПФО по числу ООПТ занимает лишь 9 место. На конец 2023 г в республике насчитывалось 134 особо охраняемые территории с общей площадью – 402,7 тыс. га, (9,5 % от площади республики). Из них 1 ООПТ федерального значения – Нечкинский национальный парк, 127 – регионального значения, и 6 ООПТ местного значения [2]. По площади охраняемых территорий субъекты ПФО значительно отличаются, лидирующие позиции занимают Республика Башкортостан и Пермский край. Последний выделяется активной работой по формированию системы охраняемых территорий региона и мониторингу созданных объектов [3; 4].

[1] Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ «Биоразнообразие природных экосистем Заволжско-Уральского региона: история его формирования, современная динамика и пути охраны» (FEWS-2024-0011).

Долгое время при рассмотрении вопросов охраны природы не обращалось внимание на сохранение базиса существующих экосистем – почвенного покрова. Только в 2002 г в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» в ст.62 была указана необходимость учета и охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, создания Красной книги почв РФ и Красных книг почв субъектов [5]. При этом проект Федерального закона № 83224-3 “Об охране почв” не принят до сих пор [6].

К настоящему времени в ряде регионов России созданы Красные книги почв, в частности это все субъекты РФ, граничащие с Удмуртией [7]. На территории Республики эта задача в настоящее время не решена. Для создания книги, в первую очередь, должна быть проведена инвентаризации почв ООПТ региона. Для этого необходимо рассмотреть возможности использования для решения данной задачи различных типов ООПТ. В республике существует лишь одна охраняемая территория федерального значения – Нечкинский национальный парк с площадью 20,75 тыс. га. Охраняемых территорий местного уровня в Удмуртии очень мало (6 шт.) и их площадь меньше 40 га. В связи с этим предпочтительнее для выделения почвенных эталонов выбрать региональные ООПТ. Преобладающей формой охраны на региональном уровне в республике являются памятники природы (110 шт.), однако их площадь невелика (суммарно 6 %) и для целей охраны почв, как правило, не подходит. Наиболее перспективными объектами являются территории с большей площадью – государственные природные заказники, занимающие суммарно 88 % от площади региональных ООПТ. Изначально большинство заказников создавалось для сохранения отдельных видов промысловых животных, как правило бобров, но затем их профиль с охотничьего изменили на комплексный. Данные ООПТ можно использовать для сохранения целинных почвенных объектов: эталонных, редких и исчезающих почв.

В настоящее время, к категории государственных природных заказников в Удмуртии относится 14 территорий, их площадь составляет почти 336 тыс. га. Используя доступные источники [2; 7; 8; 9; 10; 11] нами выполнена характеристика заказников, которая представлена в таблице, где ООПТ ранжированы в соответствии с их площадью.

Характеристики государственных природных заказников Удмуртской Республики

№ п/п	Наименование	Площадь (га)	Профиль заказника[1]/ Зона[2]	Физико-географический район (ФГР) / лидирующие ландшафты	Наиболее распространенные почвы[3]
1	«Лумпунский» (Лумпунский государственный охотничий бобровый заказник)	47720,0	К / ПТ	Кильмезский / Лумпунско-Пестерьский	Пдг, $П_3$, $Пд_3$, Пб, А, АБот, Дг
2	«Кулигинский» (Кулигинский государственный охотничий бобровый заказник)	43730,0	К / Т	Зачепецкий / Верхнекамско-Верхневятский и Пызепско-Лыпский	$П_3$, $Пд_3$, $Пд_2$, $Л_{1-3}$, А, Дк
3	«Северный» (Северный государственный охотничий комплексный заказник)	40740,0	К / Т	Зачепецкий / Верхнекамско-Верхневятский и Пызепско-Лыпский	$П_3$, $Пд_3$, $Пд_3$, $Пд_1$, А, АБот, Дк, Дг
4	«Салинский» (Салинский государственный охотничий комплексный заказник)	36180,0	К / Т, ПТ	Кильмезский / Салинский и Лумпунско-Пестерьский	$П_3$, $Пд_3$, Абт, Дг
5	«Валамазский» (Валамазский государственный охотничий бобровый заказник)	31130,0	К / ПТ	Кильмезский / Лумпунско-Пестерьский	$П_3$, Пд $_{1-3}$, Пдг, Пб, АБот, Абт, Дг

Окончание табл.

№ п/п	Наименование	Площадь (га)	Профиль заказника[1]/ Зона[2]	Физико-географический район (ФГР) / лидирующие ландшафты	Наиболее распространенные почвы$_3$
6	«Кепский» (Кепский государственный охотничий комплексный заказник)	28090,0	К / Т	Красногорский / Причепецкий; Кильмезский / Салинский	$Пд_3$, $Пд_2$, Дг, $П_3$, Л2, А
7	«Областновский» (Областновский государственный охотничий комплексный заказник)	27310,0	К / ПТ	Центрально-Удмуртский / Селычкинский	$Пд_3$, $Пд_2$, $П_3$, А, АБот, Дг
8	«Казанский» (Казанский государственный охотничий комплексный заказник)	26830,0	К / ПТ	Можгинский / Сюгинский	$Пд_3$, $Пд_2$, АБот, $П_3$, Пвгг
9	«Пестеринский» (Пестеринский государственный охотничий бобровый заказник)	20780,0	К / ПТ	Кильмезский / Лумпунско-Пестерьский и Салинский	$П_3$, $Пд_3$, $Пд_2$, АБот, А, Дг
10	«Потерянный ключ» (государственный охотничий заказник «Потерянный ключ»)	17080,0	К / ПТ	Южно-Тыловайский / Арлетский; Центрально-Удмуртский / Уйвайский	$Пд_2$, $Пд_3$, Абт, $П_3$, Дк, Пвгг
11	«Чекеровский» (Чекеровский государственный охотничий комплексный заказник)	12660,0	К / ПТ	Центрально-Удмуртский / Селычкинский ; Южно-Тыловайский / Шарканский	$П_3$, $Пд_3$, $Пд_2$, $Л_1$, Абт, Дг
12	«Кокманский»	1647,2	Б / ПТ	Кильмезский / Салинский	$П_3$, $Пд_3$, Пг, Дг
13	«Адамский»	979,1	К / Т	Чепецкий / -	А, Абт, $Пд_2$
14	«Андреевский сосновый бор»	901,8	Б / ПТ	Кильмезский / Салинский	$П_3$, $Пд_3$, Дг

Примечания. 1. К – комплексный, Б – ботанический. 2. Т – тайга, ПТ – подтайга. 3. Почвы: $П_3$ – сильноподзолистые; Пб – торфянисто- и торфяно-болотные оглеенные; Пг – подзолистые глееватые; $Пд_3$ – дерново-сильноподзолистые; $Пд_2$ – дерново-среднеподзолистые; $Пд_1$ – дерново-слабоподзолистые; Пдг – дерново-подзолистые глееватые; Дг – дерново-глеевые и дерново-глееватые; Дк – дерново-карбонатные (все варианты); $Л_1$ – светлосерые лесные; $Л_2$ – серые лесные; $Л_3$ – темносерые лесные; А – аллювиальные дерновые кислые; Абт – аллювиальные болотные иловато-торфяные; АБот – аллювиальные болотные иловато-торфяно-глеевые; Пвгг – почвы со вторым гумусовым горизонтом.

В соответствии с физико-географическим районированием, территория республики включает всего 2 зоны – таежную (Вятско-Камская южнотаежная провинция) и подтаежную (Прикамская подтаежная провинция). Отмечено значительное влияние почвообразующих пород на формирование данной зональной границы [8]. Песчаные массивы, растянутые от юго-западной границы республики в северо-восточном направлении, способствуют продвижению на север неморальных видов. В зоне тайги расположены территории четырех заказников (Северный, Кулигинский, Адамский, Кепский) и часть Салинского, все остальные входят в зону подтайги, представленность которой в заказниках по площади в 2 раза выше.

В границах государственных природных заказников Удмуртии, были выделены наиболее распространенные почвы, которые могут войти в Красную Книгу почв республики. В связи

с запретом на нарушение напочвенного покрова, не рекомендуется для выделения эталонов почв использовать территории заказников Кокманский и Андреевский сосновый бор.

Широко представленные зональные почвы в первую очередь нуждаются во внесение в Красную книгу почв субъектов РФ [7; 12]. Дерново-подзолистые почвы на территории республики преобладают, при этом они сформированы на весьма разнообразных почвообразующих породах. В северной части Удмуртии (на территории Зачепецкого ФГР) преобладают породы тяжелого гранулометрического состава, песчаные и супесчаные почвообразующие породы широко распространены в юго-западной части республики. Выделяемые ранее [13] дерново-подзолистые почвы в соответствии с современной классификацией [14] относятся к двум разным отделам: текстурно-дифференцированным почвам и альфегумусовым почвам, сформированным на легких почвообразующих породах.

Для выделения эталонов текстурно-дифференцированных дерново-подзолистых почв удачнее использовать заказники в северной части республики (таежная зона) – Северный, Кулигинский (Зачепецкий ФГР), Кепский (в границах Красногорского ФГР), а также в центральной ее части (подтаежная зона) – Потерянный ключ (Южно-Тыловайский ФГР).

Заказники, расположенные в Кильмезском ФГР, наиболее перспективны для выделения эталонов альфегумусовых почв. Данный район отличается высокой залесенностью (88 %), что обусловлено низкой освоенностью из-за бедности почв, которые развивались на эоловых песках, сформированных в результате их переноса с р. Вятка [15]. На Кильмезском эоловом рукаве располагается наибольшее число заказников: Лумпунский, Салинский, Валамазский, Пестеринский и часть Кепского. Альфегумусовые почвы дополнительно можно выделить на территории трех заказников: Областновского, Чекеровского (Центрально-Удмуртский эоловый рукав) и Казанского (Можгинский рукав).

Выделение в заказниках эталонов почв с уровнем плодородия выше, чем у дерново-подзолистых, связано с рядом трудностей. Во-первых, распространение данных почв более мозаично. Дерново-карбонатные почвы есть в заказниках: Потеряный ключ, Северный и Кулигинский, а серые лесные в Кулигинском, Кепском и Чекеровском заказниках. Во-вторых, несмотря на то, что южная часть республики относится к Прикамской провинции серых лесных почв, заказников на этой территории нет. В-третьих, дерново-карбонатные и серые лесные почвы в Удмуртии наиболее благоприятны для сельскохозяйственного использования, поэтому, из-за менее строгого режима охраны в заказниках они активно эксплуатируются и перешли в агросерые.

В Красную книгу, как наиболее ценные объекты среди текстурно-дифференцированных почв, должны войти почвы со сложным органопрофилем, включающем реликтовые гумусовые горизонты. Данные почвы отражают эволюцию почвенного покрова на территории Удмуртии. Участки эталонов почв со вторым гумусовым горизонтом необходимо выделить в заказниках Потерянный ключ и Казанский.

В рассматриваемых ООПТ достаточно хорошо представлены гидроморфные почвы. Повсеместно на территории заказников распространены азональные почвы синлитогенного ствола: аллювиальные типы почв на разных почвообразующих породах. Дерново-глеевые и дерново-глееватые почвы относятся по современной классификации к отделу глеевых почв. Их эталонные участки с большей вероятностью можно выделить в Пестеринском, Кепском, Северном, Валамазском, Лумпунском и Областновском заказниках. Болотные почвы, отнесенные сейчас к стволу органогенных почв, распространены в заказниках особенно широко (в 8 из 12).

Проблема выделения эталонных гидроморфных почв в пределах заказников связана с разработкой месторождений торфа. Мелиоративные мероприятия изменяют водный режим торфяников и прилегающей территории, что приводит к изменению эволюции данной группы почв. Определять такие почвы в эталонные не корректно. Эталоны торфяных олиготрофных почв возможно выделить в заказниках, расположенных на разных рукавах Вятского песчаного массива. В местах с двучленными почвообразующими породами характерно островное расположение заболоченных участков.

В Удмуртии для выделения почвенных эталонов целесообразно использовать территории государственных природных заказников, в которых представлены все типы почв республики. Требуется проведение дополнительных исследований для определения зон исключающих антропогенное влияние. Это позволит выделить на территории комплексных заказников участки размещения целинных эталонов для включения их в Красную книгу почв региона.

Библиографические ссылки

1. Общие сведения об особо охраняемых природных территориях по Российской Федерации за 2023г [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-OOPT_2023.xlsx (дата обращения 29.12.2024).
2. Приказ Минприроды УР от 12.01.2024 N 015-п «Об утверждении Перечня особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения Удмуртской Республики»» [Электронный ресурс] // Сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской республики. URL: https://minpriroda-udm.ru/ (дата обращения 17.12.2024).
3. *Зайцев А. А.* Современное состояние особо охраняемых природных территорий регионального значения в Пермском крае : : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.00.23. / Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 20 с.
4. *Санников П. Ю.* Оценка состояния и развитие сети ООПТ Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. 2014. № 1. С. 119-123.
5. Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 21.01.2025).
6. Паспорт проекта Федерального закона N 83224-3 «Об охране почв» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PRJ&n= 10917&rnd =pHukvw#qlAU5dU6eLB04DTC1 (дата обращения: 21.01.2025).
7. Информационная система «Почвенно-географическая база данных России». [Электронный ресурс]. URL: https://soil-db.ru/ob-informacionnoy-sisteme (дата обращения: 20.01.2025).
8. *Кашин А. А., Стурман В. И.* Уточненная схема физико-географического районирования и количественная характеристика ландшафтов Удмуртии [Электронный ресурс] // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2012. №4. С. 104. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ utochnennaya-shema-fiziko-geograficheskogo-rayonirovaniya-i-kolichestvennaya-harakteristika-landshaftov-udmurtii (дата обращения: 21.01.2025).
9. Почвенная карта Удмуртской АССР: 1988 г. [Карты] / отв. ред. Н. И. Островская, Н. Д. Стоялова. 1 : 200 000 М. : ГУГК, 1990.
10. *Рысин И. И., Саранча М. А.* Почвы, почвообразующие породы, плодородие, степень кислотности, агропочвенные районы [Электронный ресурс] // Атлас Удмуртской Республики / Геопортал Русского географического общества URL: https://geoportal.rgo.ru/record/2992 (дата обращения: 21.01.2025).
11. Удмуртская Республика [Электронный ресурс] // Леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) России. URL: https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-udmurtia (дата обращения: 20.01.2025)
12. *Добровольский Г. В., Никитин Е. Д.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: Функционально-экологический подход. М : Наука : Интерпериодика, 2000.
13. Классификация и диагностика почв СССР. М.: «Колос», 1977.
14. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004.
15. *Обатнин В. А., Сергеев А. В.* Анализ распределения четвертичных отложений на территории Удмуртской Республики путем создания цифровой карты [Электронный ресурс] // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, вып. 2. С. 175. URL: https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-2-175-189 (дата обращения: 21.01.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПИ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО ТИПА КАК ОСНОВЫ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИНОВНОЙ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Д. М. Иванов[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, dmitrymivanov89@mail.ru*

Исследованы формирующие линейные цепи дифференцирующего типа. Рассмотрена их техническая реализация и физические процессы при прохождении через них входных импульсов прямоугольной формы. Проведен математический анализ и установлены условия дифференцирования. Показано влияние постоянной времени, а также длительности входного импульса напряжения на физические процессы в дифференцирующих цепях.

Ключевые слова: дифференцирующие цепи; емкость; активное сопротивление; постоянная времени; длительность импульса; цифровые устройства; имитационное моделирование; переходные процессы.

STUDY OF TRANSIENT PROCESSES IN A DIFFERENTIATING TYPE CIRCUIT AS THE BASIS OF THE ELEMENT BASE OF ENERGY-EFFICIENT MODERN ELECTRONICS

D. M. Ivanov[1]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, dmitrymivanov89@mail.ru*

The forming linear circuits of the differentiating type are investigated. Their technical implementation and physical processes during the passage of rectangular input pulses through them are considered. A mathematical analysis is carried out and differentiation conditions are established. The influence of the time constant and the duration of the input voltage pulse on the physical processes in the differentiating circuits is shown.

Keywords: differentiating circuits; capacity; active resistance; time constant; pulse duration; digital devices; simulation modeling; transient processes.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-83-87

На современном этапе бурного развития электроники в различных электронных устройствах часто требуется изменение входных сигналов таким образом, чтобы получить на выходе сигналы необходимой формы. С помощью такого преобразования входного сигнала на выходе можно получить колебания напряжения и тока сложной формы и разной длительности. Причем нередко требуется получение одиночных колебаний (импульсов) треугольной, параболической или др. формы. Для этих преобразований целесообразно использовать формирующие цепи. Реализуются такие цепи при помощи двух последовательно соединенных пассивных элементов конденсатора и резистора и имеют общее название – RC – цепь [1]. Данные цепи разделяются на два типа: дифференцирующая и интегрирующая цепь. В данной публикации рассмотрим дифференцирующие цепи, мгновенное значение напряжения на выходе которых прямо пропорционально дифференциалу входного напряжения. В радиоэлектронике часто требуется построение таких цепей. Рассмотрим схему, состоящую из последовательно соединенных емкости и активного сопротивления (рисунок 1).

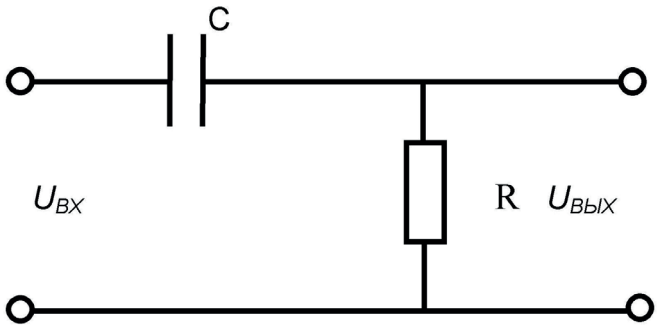


Рис. 1. Дифференцирующая цепь

Предположим, что в качестве источника напряжения используется ЭДС. Согласно второму закону Кирхгофа, будет выполняться условие:

$$E = U_C + U_R \tag{1}$$

где U_C – напряжение на конденсаторе (В);
U_R – напряжение на резисторе (В).

Учитывая, что $U_R = i \cdot R; i = C\frac{dU_C}{dt}$

Запишем выражение (1) в виде дифференциального уравнения [1; 2]:

$$E = RC\frac{dU_C}{dt} + U_C \tag{2}$$

Считая, что в уравнении (2) ЭДС будет равно входному напряжению ($E = U_{BX}$), напряжение на резисторе равно выходному напряжению ($U_R = U_{ВЫХ}$), а $RC = \tau$ – постоянная времени цепи, получим следующее выражение[3; 4]:

$$\frac{dU_{ВЫХ}}{dt} + \frac{1}{\tau}U_{ВЫХ} = \frac{dU_{BX}}{dt} \tag{3}$$

$$U_{ВЫХ} \approx \tau\frac{dU_{BX}}{dt} \tag{4}$$

где U_{BX} – величина входного импульса напряжения (В);
$U_{ВЫХ}$ – величина выходного импульса напряжения (В);
τ – постоянная времени (с).
Выражение (4) будет справедливо лишь при условии [5; 6]:

$$\frac{dU_{BX}}{dt} \;\text{»}\; \frac{dU_{ВЫХ}}{dt}, \tag{5}$$

С учетом предыдущего выражения получим:

$$\frac{dU_{BX}}{dt} \text{»} \mathrm{RC}\frac{d^2U_{ВЫХ}}{dt^2} \tag{6}$$

Из выражений видно, что выходное напряжение в данной RC-цепи пропорционально производной входного напряжения, поэтому такую электрическую цепь называют дифференцирующей.

Выполнению неравенства (6) будет способствовать уменьшение постоянной времени τ = RC и дифференцирование входного сигнала будет более точным при меньшей постоянной времени τ. Однако из выражения (4) видно, что при уменьшении τ уменьшается величина входного напряжения.

Вторая производная входного сигнала выражает скорость изменения крутизны фронта или спада сигнала, поэтому наибольшие искажения будут иметь место в течение длительности фронта и спада. Наименьшие искажения будут получаться в течение той части сигнала, где скорость изменения сигнала dUBX/dt постоянна.

При больших значениях постоянной времени τ в RC-цепи дифференцирующего типа напряжение на резисторе повторяет переменную составляющую входного сигнала, а его постоянная составляющая полностью подавляется. RC-цепь в этом случае называется разделительной [7; 8].

Рассмотрим процессы, происходящие в дифференцирующей цепи при прохождении через нее импульсов прямоугольной формы. Особенности прохождения импульсов исследуем в зависимости от соотношения постоянной времени цепи τ и длительности импульсов t_u. Для получения выходного напряжения, соответствующего производной от напряжения на входе цепи, необходимо выполнение условия [9]:

$$\tau << t_u \tag{7}$$

где t_u – длительность импульса напряжения на входе цепи (с);

τ – постоянная времени (с).

Для рассмотрения происходящих физических процессов в дифференцирующей цепи в разных системах координат получим временные диаграммы входного и выходного сигналов исследуемой цепи (рисунок 2) для случая, когда длительность импульса $t_u << \tau$ и $t_u >> \tau$

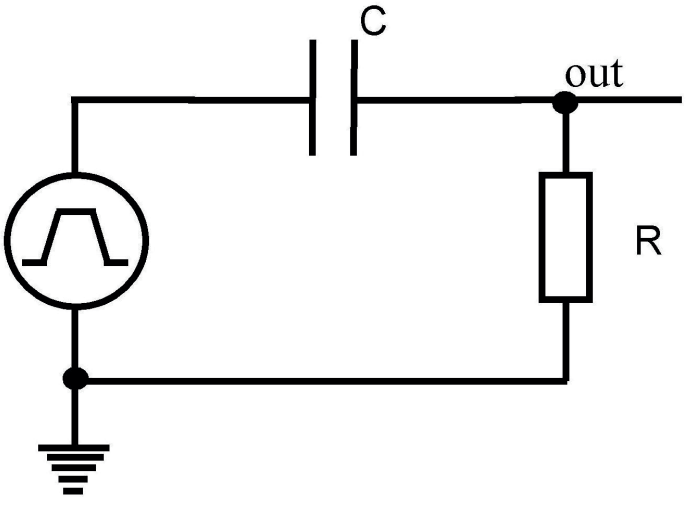


Рис. 2. RC-цепь дифференцирующего типа
с импульсным источником напряжения

Результаты имитационного моделирования переходных процессов при длительность импульса *tu* << τ и t_u >> τ в RC-цепи с резистивным выходом представлены на рисунке 3 и 4. По оси абсцисс отложено время в микросекундах (микро - us).

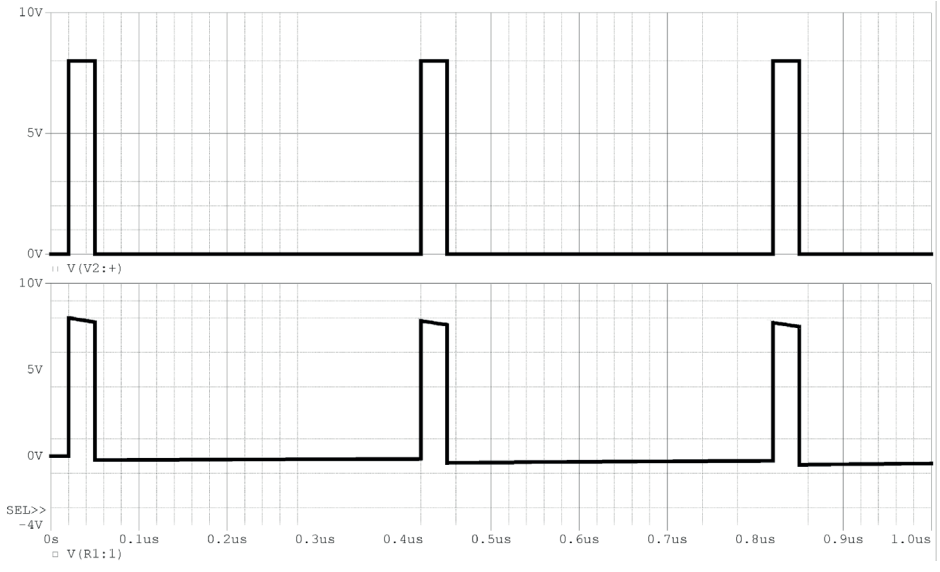


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования переходных процессов при длительность импульса $t_u << \tau$ в RC-цепи с резистивным выходом

Как видно из полученных результатов имитационного моделирования (рисунок 3) при больших значениях постоянной времени τ, которые значительно превышают значение длительности входного импульса в RC-цепи дифференцирующего типа, напряжение на резисторе будет повторять переменную составляющую входного сигнала, а его постоянная составляющая полностью подавляется. В данном случае такую RC-цепь можно считать переходной или разделительной.

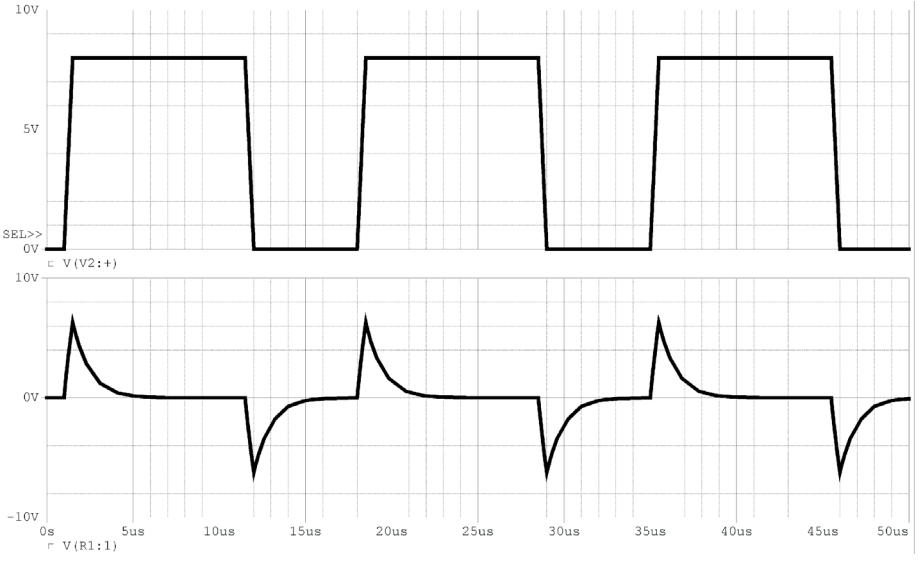


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования переходных процессов при длительность импульса $t_u >> \tau$ в RC-цепи с резистивным выходом

Полученные результаты имитационного моделирования при малых значениях постоянной времени τ (рисунок 4) показывают, что формирующая RC-цепь позволяет получить выходное напряжение, которое соответствует производной от напряжения на входе цепи. Следует отметить, что в момент появления импульса на входе цепи напряжение на конденсаторе не изменяется скачкообразно, это связано с перераспределением электрической энергии емкости. Отсюда получается, что в момент поступления на вход цепи положительного импульса (рисунок 4) с определенной амплитудой U_M на резисторе напряжение будет равно значению U_M. Спустя время начнется

быстрый заряд конденсатора $\tau << t$. Во время заряда конденсатора напряжение на нем возрастает по экспоненциальному закону, а напряжение на выходе дифференцирующей цепи будет равно разности между амплитудным напряжением на входе и напряжением на емкости. Напряжение на выходе RC-цепи убывает с той же скоростью. Учитывая, что величина постоянной времени τ значительно меньше длительности импульса на входе, напряжение на выходе становится равным нулевому значению задолго до окончания импульса. Вызвано это тем, что за это время конденсатор успевает практически полностью зарядиться. После того как действие входного импульса будет окончено в цепи будет действовать только напряжение на конденсаторе U_c, тогда выходное напряжение можно найти согласно второго закона Кирхгофа для RC-цепи:

$$0 = U_C + U_{ВЫХ} \tag{8}$$

где U_C – напряжение на конденсаторе (В);

$U_{ВЫХ}$ – величина выходного импульса напряжения (В);

Из выражения (8) видно, что выходное напряжение повторяет напряжение на конденсаторе и в момент времени, когда импульс закончился, конденсатор начинает разряжаться через источник питания. По резистору потечет ток разряда и на выходе дифференцирующей RC-цепи появляется отрицательное напряжение.

Пассивные дифференцирующие цепи применяют в импульсных и цифровых устройствах для укорачивания импульсов. На рисунке 4 видно, что прямоугольные импульсы при прохождении через RC-цепь преобразуются в короткие запускающие импульсы с крутым фронтом. Такая цепь эффективно пропускает высокие частоты, поэтому ее можно классифицировать как фильтр верхних частот (ФВЧ).

Подводя итог, хотелось бы отметить, что дифференцирующие цепи являются важными элементами в электронике и благодаря свойствам резистора и конденсатора они создают эффект, который можно использовать для фильтрации или изменения формы и частоты сигнала. Благодаря дынным свойствам RC – цепи находят широкое применение в различных устройствах от бытовой электроники до промышленного производства, авиации и космической технике.

Библиографические ссылки

1. *Иванов, Д. М.* Исследование физических процессов в цепи интегрирующего и дифференцирующего типа // Эпоха науки. 2024. № 37. С. 31-38.
2. *Петушков, М. Ю.* Основы преобразовательной техники: учебное пособие для вузов., Москва: Издательство Юрайт, 2023.
3. *Корчагин П. А., Таюрский А. Г.* Дифференцирующие и интегрирующие цепи. Казань: Казан. ун-т, 2016.
4. *Осадченко В. Х., Волкова Я. Ю., Кандрина Ю. А.* Фильтры высоких и низких частот: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015.
5. *Коломейцева, М. Б., Беседин В. М., Ягодкина Т. В.* Основы импульсной и цифровой техники: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2023.
6. *Иванов, И. И., Соловьев Г. И., Фролов В. Я.* Электротехника и основы электроники: учебник. 10-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2019.
7. *Денисенко, Д. Ю., Иванов Ю. И., Финаев В. И.* Основы силовой преобразовательной техники: учебное пособие., Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. Ч. 2. 150 с.
8. *Радыгин, А. В.* Силовая электроника: учебное пособие., Новосибирск: Издательство НГТУ, 2017.
9. *Розанов, Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А.* Силовая электроника: учебник для вузов., Москва: Издательский дом МЭИ, 2016.

ДИНАМИКА УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В. В. Капусто[1), 2)], **Е. Н. Сумак**[1), 2)]

[1)] *Белорусский государственный университет, пр. Независимости 4, 220030, г. Минск, Беларусь, katyasbelarus@gmail.com*
[2)] *Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь, katyasbelarus@gmail.com*

Оценка динамики условий увлажнения необходима для решения конкретных проблем, связанных с выработкой адаптаций к засушливым явлениям, снижению их экономического ущерба, а также выявлению закономерностей и тенденций возникновения, развития, протекания засух с целью их возможного прогнозирования. В данном исследовании проведен анализ динамики метеорологических показателей засух – гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (standardised precipitation evapotranspiration index) SPEI на территории Беларуси в теплые сезоны (апрель-сентябрь) за период 1994-2023 гг. Выявлена пространственно-временная динамика условий увлажнения республики, оценена взаимосвязь между метеорологическим показателями засух.

Ключевые слова: засуха; ГТК; индекс SPEI; условия увлажнения.

DYNAMICS OF MOISTURE CONDITIONS IN THE TERRITORY OF BELARUS

V. V. Kapusto[1), 2)], **K. M. Sumak**[1), 2)]

[1)] *Belarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus, katyasbelarus@gmail.com*
[2)] *Republican Centre for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring, 110 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus, katyasbelarus@gmail.com*

An assessment of the dynamics of moisture conditions is necessary to solve specific problems associated with the development of adaptations to drought phenomena, mitigating their economic impact, as well as identifying patterns and trends in the occurrence, development, and course of droughts for the purpose of their possible forecasting. This study analyzes the dynamics of meteorological drought indicators – hydro-thermal coefficient of Selyaninov (HTC) and the standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Belarus during the warm seasons (April-September) from 1994 to 2023. The spatial and temporal dynamics of the moisture conditions of the republic were revealed, and the relationship between meteorological indicators of droughts was assessed.

Keywords: drought; HTC; index SPEI; moisture conditions.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-88-92

Для оценки засушливых явлений и определения атмосферной засухи используются различные количественные критерии, учитывающие основные метеорологические параметры, такие как температура и влажность воздуха, количество осадков и др. [1]. Наиболее распространенным и широко вошедшим в практику отечественной агрометеорологии показателем является гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), представляющий собой отношение суммы осадков (R, мм) за какой-либо период к сумме среднесуточных температур воздуха, превышающих 10 °С (t, °С) за тот же период года [2]:

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma R}{0{,}1\ \Sigma t.}$$

Этот показатель дает комплексную характеристику степени увлажнения, поскольку сравнивает количество выпавших осадков с возможным испарением с открытой водной поверхности, пропорциональным сумме температур. Гидротермический коэффициент Селянинова рассчитывается для периодов продолжительностью не менее одного месяца со средними суточными температурами не менее 10°С, что соответствует периоду активной вегетации. В данном исследовании в качестве исходных данных для расчета ГТК использовались фондовые материалы государственного климатического кадастра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь о среднесуточной температуре воздуха и осадках за апрель-сентябрь 1994-2023 гг.

В настоящее время, помимо ГТК существует ряд индексов засушливости. К началу текущего столетия наиболее распространенным, основанным только на данных об осадках, стал стандартизированный индекс осадков (standardised precipitation index, SPI) [3]. Применение индекса SPI рекомендовано Всемирной метеорологической организацией в качестве основного метеорологического индекса, который следует использовать для мониторинга засушливых условий. Индекс SPI может вычисляться для разных временных масштабов и имеет положительные значения до 2,0 и более, характеризующие избыточные условия увлажнения, и -2,0 и менее, характеризующие интенсивность засухи. Согласно исследованию [4], проведенному для территории Беларуси с использованием стандартизированных индексов осадков SPI-1, период потепления климата характеризуется ростом повторяемости метеорологических засух. Летом осадки отличаются пространственной неоднородностью, наблюдается снижение продолжительности их выпадения, за исключением северных районов страны и рост максимальных сумм осадков во все летние месяцы.

Современным индексом для оценки условий увлажнения территории выступает стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (standardised precipitation evapotranspiration index, SPEI). SPEI представляет собой мультискалярный индекс засухи, основанный на климатических данных, учитывающий дефицит осадков и роль повышенного расхода на испарение при протекании засухи. SPEI рассчитывается на основе долгосрочных и высококачественных данных об осадках, их поглощении растительностью и испарении. Данные могут быть получены с наземных станций или с привязкой к сетке данных на основе интерполяции, а также спутниковых наборов данных. В данном исследовании в качестве исходных данных использовались месячные значения индекса SPEI, полученные из базы данных SPEI – Global Drought Monitor (https://spei.csic.es/map/maps.html#months) [5].

Было выявлено, что за период исследования на территории Брестской области в апреле наблюдалась тенденция к ухудшению условий увлажнения, линия тренда в апреле для ГТК составила -0,8, для индекса SPEI -0,6, в мае тренд ГТК и SPEI существенно не изменился. В целом, за два весенних месяца по значению ГТК преобладали оптимальные условия увлажнения, однако, часто наблюдались засушливые годы. По индексу SPEI преобладали нормальные условия увлажнения, отмечались годы со слабой засухой, а засушливые условия отмечались в 2005 и 2019 году, а сильная засуха – в 2009 году. Отдельные годы, преимущественно в последнее десятилетие, как по критериям ГТК, так и SPEI характеризовались избыточным увлажнением в весенний период. В летний период условия увлажнения за рассматриваемый период практически не изменились, лишь в июне отметился незначительный тренд снижения ГТК и SPEI. В июне преобладало оптимальное увлажнение, однако, начиная с 2010 года, увеличилась повторяемость засушливых лет. Сильная засуха по величине индексов отметилась в 2015 и 2019 годах. Аналогичная тенденция отмечалась в июле и августе. Среднемноголетние значения увлажнения в июле для ГТК составили 1,53, для SPEI – 0,02. В августе по значениям ГТК преобладало число лет со слабой засухой. Наиболее засушливым был август 2002 и 2015 годов. В сентябре также отмечался незначительный тренд на снижение значений показателей, однако условия увлажнения оставались оптимальными, а в последнее десятилетие наблюдалась некоторая неоднородность между сентябрьскими характеристиками увлажнения ГТК и SPEI.

По Витебской области в апреле месяце наблюдался незначительный тренд на снижение ГТК и SPEI, значения которых составили в мае – ГТК -0,4, SPEI -0,3. В целом преобладали годы с оптимальным и избыточным увлажнением, однако по величине ГТК отмечена частая повторяемость лет со значениями близкими к засухе, так в 2019 году отмечалась сильная засуха; по значениям SPEI сильная засуха выдалась и в 1999 году. Май характеризовался оптимальными условиями увлажнения, заметны тренды на понижение характеристик увлажнения территории за рассматриваемый период. Сильная засуха отмечалась лишь в 1999 и 2000 годах. В июне отмечен существенный тренд на снижение значений (ГТК -1,0, SPEI -1,5). Заметно увеличение и повторяемость амплитуд межгодовых колебаний, в последнее десятилетие практически в равных долях отмечено количество лет с избыточными и слабо засушливыми или засушливыми условиями увлажнения. По значениям ГТК сильная засуха отмечалась лишь в 2015 году, а по значениям SPEI – в 2013, 2015, 2019 и 2023 годах. В июле был характерен положительный тренд значений (ГТК – 0,7, SPEI – 0,6), часто отмечались годы с избыточным увлажнением. Сильная засуха в июле по значениям ГТК отмечалась лишь в 1994 году, по SPEI – в 1994, 1999, 2002, 2010 и 2021 годах. В весенние месяцы, а также в июне и июле отмечалась существенная амплитуда межгодовых колебаний, что свидетельствует о неоднородности увлажнения территории в различные годы. В августе тренд по SPEI за рассматриваемый период не изменился, а по ГТК незначительно вырос. По ГТК преобладали годы, в которых отмечалась слабая засуха, над годами с нормальным увлажнением, а сильная засуха отмечалась по два раза за десятилетие. Сильная засуха отмечалась в 1996, 1997, 2002, 2007, 2015 и 2022 годах. В сентябре отмечался существенный тренд на снижение значений как ГТК, так и SPEI. В целом преобладали слабозасушливые и засушливые годы. Очень сильная засуха отмечалась в 2023 году.

На территории Гродненской области за рассматриваемый период в весенние месяцы наблюдался незначительный тренд на снижения значений ГТК и SPEI, в мае тренд индекса SPEI составил -0,5. Преобладали годы с нормальным увлажнением, также отмечались годы с избыточным увлажнением и слабой и более интенсивной засухой. Очень сильная засуха отмечалась в апреле раз в пятилетку. В летние месяцы характеристика увлажнение была неоднородной, в июне отмечался тренд на снижение значений (ГТК -0,9, SPEI -1.0). В июле наблюдалась незначительная тенденция к увеличению показателей. В августе тренд оставался практически неизменным. В июне и июле преобладали годы с нормальным увлажнением. В июне значения ГТК имели практически ровный ход и слабую амплитуду межгодовых колебаний, засушливые годы практически не отмечались как в июне, так и в июле. По значениям SPEI сильная засуха отмечалась в июне 2016, 2018, 2019 и 2021 годов, а в июле практически не наблюдалась. Август характеризовался однородностью условий увлажнения, по значениям ГТК в равном количестве отмечались годы со слабой засухой и годы с нормальным увлажнением, избыточное увлажнение отмечалось редко. В сентябре тренд по значениям ГТК не изменился за рассматриваемый период, а по SPEI отмечалось понижение на -0,8. По значениям ГТК преобладали слабозасушливые и засушливые годы, по величине SPEI засуха наблюдалась преимущественно после 2010-х годов, а в 2016, 2020 и 2023 годах отмечалась очень сильная засуха.

За рассматриваемый период по Гомельской области отмечался тренд на ухудшение условий увлажнения, в апреле месяце – ГТК -1,0, SPEI -0,5, в мае – SPEI -0,3, ГТК незначительно вырос. В июне тренд составил – ГТК -0,6, SPEI -1,1; в июле ГТК -0,4, SPEI – практически не изменился; в августе – ГТК не изменился, SPEI -0,9. Засуха и сильная засуха отмечалась практически в каждом месяце с интервалом в 5 лет, за исключением августа, когда сильная засуха по критериям ГТК и SPEI встречалась лишь в отдельные годы. В целом, июнь, август и сентябрь характеризовались преобладанием лет со слабой засухой. Наиболее сильная засуха отмечалась в апреле 2009, мае 2018, августе 2015 и 2022 годов, а также в сентябре 2005 и 2023 годов.

По Могилевской области в весенний период наблюдался тренд к снижению значений (в апреле – ГТК -0,8, SPEI -0,5; в мае – ГТК 0,3, SPEI -0,6). В целом, весенний период характе-

ризовался нормальным увлажнением, однако, апрель часто был засушливым. В мае сильная засуха отмечалась в 2023 году, а очень сильная засуха – в 2018 году. Для апреля была характерна высокая амплитуда межгодовых колебаний, отдельные годы характеризовались избыточным увлажнением по значениям ГТК. С 2010-го года отмечалось увеличение слабозасушливых и засушливых лет. В июне наблюдался тренд на снижение степени увлажнения территории (-0,5 для ГТК и SPEI), а в июле отмечался незначительный тренд роста (ГТК и SPEI – 0,3). В летний период сильная и очень сильная засуха по значениям ГТК практически не отмечалась, за исключением августа 2015 и 2022 годов, а также в 1994 году. В июне и июле, начиная с 2010-х годов, наблюдалось увеличение повторяемости слабой и умеренной засухи. В сентябре отмечался незначительный тренд на уменьшение ГТК, по SPEI тренд составил -0,8. Многолетний ход индексов засушливости характеризовался относительно ровным ходом, преобладали слабозасушливые и засушливые годы, отмечались единичные годы с избыточным увлажнением. Сильная засуха отмечалась в сентябре 2004, 2006, 2014, 2016 и 2023 годов. Очень сильная засуха отмечалась в 2005 и 2013 годах.

По территории Минской области в весенние месяцы, в частности в апреле, наблюдался тренд на уменьшение значений (ГТК -0.6, SPEI -0.7). В мае тренды индексов практически не изменились. В апреле преобладали годы с избыточным увлажнением, засухи и сильные засухи наблюдались лишь в отдельные годы, наиболее сильная засуха отмечалась в 2009 и 2019 годах. С 2010-х годов наблюдалось увеличение амплитуды межгодовых колебаний. В летний период, в июне отмечался тренд к уменьшению характеристик (ГТК -0,9, SPEI -1,3), в июле существенный положительный тренд был выявлен для ГТК – 0,6 и незначительный для SPEI – 0,3. В августе тренды не претерпели существенных изменений, с 2000-х годов отмечалось сглаживание амплитуды межгодовых колебаний, преобладали слабозасушливые годы, после 2010 года избыточное увлажнение практически не отмечалось. Сильная засуха отмечалась в 1996, 2002, 2007, 2018 и 2022 годах, очень сильная засуха – в августе 2015 года. В сентябре преобладали годы со слабозасушливыми и засушливыми условиями, периоды с избыточным увлажнением практически не отмечались, сильная засуха наблюдалась в отдельные годы с повторяемостью 1 раз в 3-5 лет.

Оценка статистической взаимосвязи между ГТК и SPEI показывает высокий коэффициент корреляции между характеристиками увлажнения как в отдельные месяцы, так и за весь вегетационный период (таблица). Данные показатели являются значимыми и имеют высокую связь между переменными, так как гидротермический коэффициент Селянинова и стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации SPEI являются метеорологическими показателями, основанными на данных о температуре воздуха и осадков, но имеющие разные процедуры расчета. Следовательно, возможно использование одного из индексов для замены другого при оценке условий увлажнения территории.

Оценка взаимосвязи между ГТК и SPEI по областям Беларуси, 1994-2023 гг.

Месяц/период	Коэффициент корреляции		
	Минская область	Гомельская область	Могилевская область
Апрель	0,954	0,915	0,884
Май	0,961	0,940	0,891
Июнь	0,963	0,928	0,925
Июль	0,915	0,940	0,943
Август	0,967	0,950	0,967
Сентябрь	0,885	0,872	0,823
Вегетационный период	0,900	0,894	0,851

Окончание табл.

Месяц/период	Коэффициент корреляции		
	Гродненская область	Брестская область	Витебская область
Апрель	0,921	0,863	0,898
Май	0,874	0,859	0,946
Июнь	0,831	0,873	0,953
Июль	0,865	0,834	0,944
Август	0,943	0,914	0,977
Сентябрь	0,796	0,836	0,853
Вегетационный период	0,832	0,841	0,864

Таким образом, за вегетационный период 1994-2023 годов по территории Беларуси наблюдалась тенденция к ухудшению условий увлажнения практически по всем областям республики, особенно в апреле, июне и сентябре. Наиболее существенный тренд на снижение величин ГТК и SPEI отмечался в июне и колебался от -1,0 до -1,5 по областям страны. В остальные месяцы условия увлажнения практически не изменились. Увеличилась повторяемость лет с засухами различной интенсивности, а, начиная с 2010-х годов, наблюдался тренд на уменьшение повторяемости лет с избыточным увлажнением территории. Наиболее неблагоприятным периодом по значениям индексов ГТК и SPEI выявился август и сентябрь, в эти месяцы количество лет с слабо засушливыми условиями преобладало над количеством лет с хорошими условиями увлажнения.

Стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации SPEI имеет схожий ход с гидротермическим коэффициентом Селянинова, между ними выявлена тесная корреляционная связь, что позволяет использовать их как для оперативной оценки условий увлажнения территории, так и для прогнозирования, за счет использования данных дистанционного зондирования Земли и интеграции модельных расчетов.

Библиографические ссылки

1. *Сумак Е. Н.* Обзор современных методов исследования и мониторинга засух // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2024. № 2. С. 91–106.

2. *Бучинский И. Е.* Засухи и суховеи. Ленинград: Гидрометеоиздат., 1976.

3. Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков [электронный ресурс] // Всемирная метеорологическая организация. URL: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_ru_2012.pdf. (дата обращения 10.12.2024).

4. *Тарасевич И. В., Гледко Ю. А., Данилович И. С.* Оценка трансформации засушливых условий на территории Беларуси с использованием стардартизированных индексов осадков SPI // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. общего землеведения и гидрометеорологии Белорус. гос. ун-та, Минск, 11–13 окт. 2023 г. Минск: БГУ, 2023. С. 571-577.

5. Global SPEI database [электронный ресурс]. URL: https://soton.eead.csic.es/spei/database.html (дата обращения 10.12.2024).

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ Г. КОБРИНА В 2021 Г.

Л. А. Кириченко[1)], **А. А. Волчек**[1)]

[1)] *Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, 224017, г. Брест, Беларусь, lakobrinetch@mail.ru*

Поддержание в хорошем экологическом состоянии водоемов является проблемой современности. Это особенно актуально для водоемов малых городов. Цель исследования – изучение экологическое состояния водоемов урбанизированных территорий на примере водоемов г. Кобрина. Оценка состояния водоемов проводилась по разработанным ранее критериям комплексной оценки экологического состояния водоемов урбанизированных территорий. Результаты исследований за 2021 г. показали, что пруды г. Кобрина находятся в удовлетворительном и плохом экологическом состоянии. Следовательно, необходимо разработать мероприятия по улучшению и их реабилитации.

Ключевые слова: водоемы урбанизированных территорий; антропогенное влияние; комплексное экологическое состояние.

ECOLOGICAL STATE OF RESERVOIRS IN KOBRIN IN 2021

L. A. Kirichenko[1)], **A. A. Volchak**[1)]

[1)] *Brest State Technical University, Moskovskaya St., 267, 224017, Brest, Belarus, lakobrinetch@mail.ru*

Maintaining water bodies in good ecological condition is a modern problem. This is especially relevant for urban water bodies in small towns. The purpose of the study is to assess the ecological state of urban reservoirs in urbanized areas using the example of water bodies in Kobrin. The state of urban reservoirs was assessed based on previously developed criteria for a comprehensive assessment of the ecological state of water bodies in urbanized areas. The research results for 2021 showed that the ponds of Kobrin are in satisfactory and poor ecological condition. Therefore, it is necessary to develop measures to improve and rehabilitate them.

Keywords: urban reservoirs; anthropogenic impact; comprehensive ecological state.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-93-98

Отражением экологического состояния городов являются водные объекты, расположенные в их границах. На состояние водных объектов влияет множество факторов, но преобладающим является антропогенное воздействие. Особенно сильно воздействию подвергаются водные объекты с замедленным водообменом – водоемы. Поэтому исследование экологического состояния таких водоемов всегда актуально. Особенно значима данная проблема для водоемов малых городов, которые в большинстве своем эвтрофированы в разной степени. Эти водоемы не включены в Национальную систему мониторинга водных объектов Республики Беларусь. Следовательно, особый интерес представляет установление экологического состояния городских водоемов.

Таким образом, целью исследования является изучение экологическое состояния водоемов урбанизированных территорий на примере водных объектов г. Кобрина как одного из типичных малых городов юго-запада Беларуси.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать гидрохимические показатели водоемов г. Кобрина;
2. Провести гидроморфологические исследования городских водоемов;
3. Исследовать гидробиологические показатели водоемов г. Кобрина;

4. Дать комплексную оценку состояния урбанизированных водоемов;
5. Выявить основные проблемы водоемов г. Кобрина..

Материалы и методы

Объектом исследования являются водоемы г. Кобрина, для которых характерна площадь водного зеркала менее 1 км^2, разная степень антропогенного воздействия и наиболее обширная гидрологическая сеть (рис. 1). При планировании точек отбора проб была выбраны наиболее распространенные урбанизированные водоемы с разной степенью антропогенного влияния. Картосхемы расположения объектов исследования указана на рисунке 1.

Рис. 1. Картосхема расположения точек отбора воды водоемов г. Кобрина:
К–1 парковый пруд, К–2 пруд б/н по ул. Полесской

В основу определения состояния водоемов урбанизированных территорий положены критерии экологического состояния (гидроморфологические, гидрохимические, гидробиологические), а так же рекреационный и эстетический потенциал, антропогенная трансформация и др. показатели, разработанные на базе кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета [1].

Гидроморфологические, гидрохимические и гидробиологические показатели экологического состояния городских водоемов изучали стандартными методами, принятыми в лимнологии, гидрохимии и гидробиологии [2–10].

Уровень рекреационной значимости определяли по методике, указанной в [11]. Уровень антропогенной трансформации определяли по сравнению гидроморфологических показателей и параметров водосборов исследованных водоемов урбанизированных террито-

рий с показателями водных объектов для безопасного рекреационного использования по ЭкоНиП 17.06.08–003–2022 [6].

Экологическое состояние урбанизированных водоемов по гидрохимическим показателям определяли по по кратности превышения ПДК сравнением исследованных показателей с наименьшим (наиболее жестким) показателем допустимых концентраций показателей загрязняющих веществ к пригодности водоемов в рекреационных целях согласно ТКП 17.06–17–2018, СниП «Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании», Постановлению Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 05.12.2016, № 122, ПДК загрязняющих веществ для водоемов рыбохозяйственного назначения [5–7]. Экологическое состояние по гидробиологическим показателям оценивалось нами по показателю индекса сапробности водоемов по макрофитам [12].

Уровнень экологической деградации водоемов г. Кобрина проводили по их трофическому состоянию. Трофический статус водоемов определялся нами с помощью индекса трофического состояния (TSI), т.е по среднему арифметическому значению трех индексов трофности TSI – прозрачности воды по диску Секки (SD), концентрации фосфора общего (TP) и концентрации хлорофилла а в поверхностном слое воды (Chl *a*) [4].

Результаты и обсуждения

Комплексную оценку экологического состояния водоемов г. Кобрина проводили в летний период 2021 г.

Гидроморфологические показатели. Парковый пруд г. Кобрина (***К-1***) природно-антропогенного происхождения. Расположен в зеленой зоне исторического парка им. А.В. Суворова, в бассейне р. Мухавец. Площадь водного зеркала 0,02 км^2, максимальная длинна 0,200 км, максимальная ширина 0,102 км, максимальная глубина 1,2 м, средняя глубина 0,45 м, среднегодовые колебания уровня воды 30–40 см, длина береговой линии 1,545 км, степень развития береговой линии 1,96, коэффициент удлиненности 3,08 . Берега пруда пологие, котловина озерного типа, в центре пруда небольшой островок, дно заросшее подводной растительностью; имеются признаки антропогенной трансформации: набережная на одном из берегов, часть берега со стороны холма со смотровой площадкой укреплена бетонными блоками, вдоль берегов проходит пешеходная дорога, дно частично засорено строительным и бытовым мусором (кирпичи, части бетонных балок и блоков, осколки бутылочного стекла). Водоем бессточный, водонаполнение за счет грунтовых вод и поверхностного ливневого стока.

Пруд по ул. Полесской частного сектора г. Кобрина (***К-2***) природно-антропогенного происхождения, создан с целью понижения уровня грунтовых вод в районе частного сектора. Расположен в бассейне реки Мухавец. Площадь водного зеркала 0,004 км^2, максимальная длинна 0,084 км, максимальная ширина 0,024 км, максимальная глубина 1,3 м, средняя глубина 0,9 м, среднегодовые колебания уровня воды 20–30 см, длина береговой линии 0,29 км, степень развития береговой линии 3,50, коэффициент удлиненности 1,29. Берега водоема пологие с западной стороны и крутые, обрывистые с остальных сторон, низкие, песчаные, котловина озерного типа, зарастает подводной растительностью; имеются признаки антропогенной трансформации (обрывистые берега, дно неровное, сапропель глубиной более 30 см, дно загрязнено кирпичами, осколками бутылочного стекла, старыми шинами, поверхность водоема засорена пластиковыми бутылками, остатками полиэтиленовой пленки). Пруд бессточный, водонаполнение происходит за счет высоко залегающих грунтовых вод и поверхностных стоков с прилегающей территории частного сектора. Пруд расположен в частном секторе, со всех сторон окружен приусадебными участками, активно используемых для выращивания сельскохозяйственных культур.

Таким образом, пруд К–1 является рекреационно-значимым водоемом, уровень рекреационной значимости средний. Пруд К–2 рекреационно-незначимый, характеризуется «нулевым» уровнем рекреационной значимости.

По уровню антропогенной трансформации исследуемые водоемы характеризуются как пруды с частичной (К–1) и незначительной (К–2) трансформацией.

Гидрохимические показатели. Исследование качества воды в водоемах проводилось по следующим по гидрохимическим показателям: водородному показателю (pH), прозрачности, цветности, минерализации, растворенному кислороду, $БПК_5$, ХПК, NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, железу общему, нефтепродуктам, СПАВ анионактивным. Результаты исследования качества воды по показателям, превышающим ПДК показаны на рисунке 2. Таким образом по гидрохимическим показателям экологическое состояние водоема определено нами как плохое для К–1 и очень плохое для К–2.

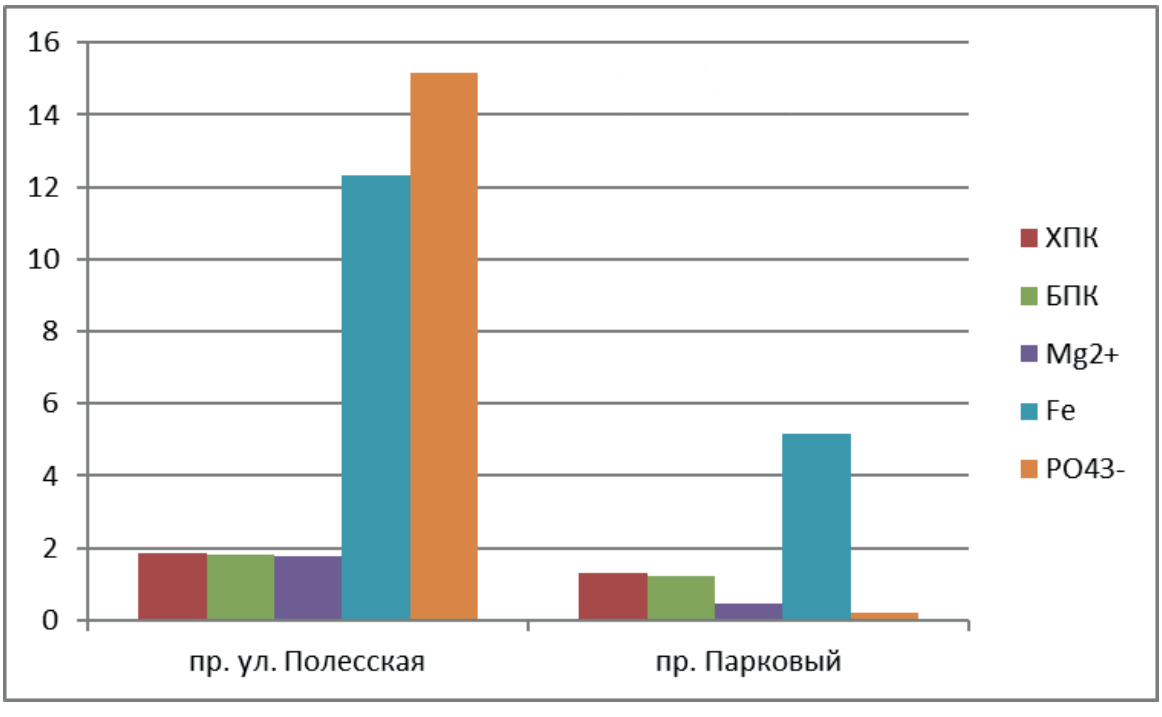


Рис. 2. Содержание загрязняющих веществ в водоемах г. Кобрина в летний период 2021 г.

Результаты исследования экологического состояния водоемов г. Кобрина по гидрохимическим показателям и трофического состояния показаны в таблице 1. Согласно полученных результатов водоемы сильно загрязнены органическими и биогенными веществами. Повышенное содержание солей магния и микроорганизмов (растворенный кислород) характерно в случае попадания в водоем ливневых стоков с территории водосбора, подверженного антропогенному воздействию.

Таблица 1

Экологическое состояние водоемов г. Кобрина в летний период 2021 г.

Водоем	Химические показатели превышающие ПДК	Экологическое состояние по гидрохимическим показателям	Индекс трофического состояния, TSI	Трофность	Индекс сапробности, S	Сапробность
К – 1	ХПК, Fe, $БПК_5$, PO_4^{3-}	плохое	57,84	эвтрофное	3,68	поли-сапробный
К – 2	ХПК, Fe, $БПК_5$, Mg^{2+}, PO_4^{3-}	очень плохое	70,53	гипер-эвтрофное	4,16	гипер-сапробный

По уровню экологической деградации пруд К–1 характеризуется как водоем находящиеся в антропогенно-напряженном состоянии, эвтрофный, с низкой способностью к самоочищению. Пруд К –2 находится в кризисным трофическим состоянии, эвтрофный или гиперэвтрофный, не способный к самоочищению.

По гидробиологическим показателям по индексу сапробности по макрофитам водоем К–1 характеризуется плохим, а К–2 – очень плохим экологическим состоянием.

Результаты комплексной оценки экологического состояния исследованных водоемов по разработанным критериям в летний период 2021 г. показаны в таблице 2. Таким образом, с учетом всех исследованных критериев комплексной оценки экологического состояния водоемов урбанизированных территорий статус водоемов на современном этапе оценивается как удовлетворительный (парковый водоем К–1) и плохой (К–2).

Таблица 2

Комплексная оценка состояния урбанизированных водоемов г. Кобрина в летний период 2021 г.

Показатели / Водоем	Гидрохимические	Гидробиологические	Уровень рекреационной значимости	Уровень экологической деградации	Уровень антропогенной трансформации	Балл суммарный	Состояние
К–1	4	4	2	2	3	14	удовлетворительное
К–2	5	5	4	3	2	19	плохое

Заключение

Согласно разработанной и применяемой нами методики комплексной оценки водоемов урбанизированных территорий с учетом антропогенного влияния установлено, что пруд К–1 находится в удовлетворительном состоянии, а пруд К – 2 в плохом состоянии.

Таким образом, для водоема К–1 необходимо предусмотреть мероприятия по улучшению экологического состояния. Для пруда К–2 необходимо предусмотреть мероприятия по его реабилиации.

Библиографические ссылки

1. *L. A. Kirichenko, A. A. Volchak.* Comprehensive assessment of the ecological state of reservoirs in the urbanized territories of the south-west of Belarus // Vestnik of Brest State Technical University. 2024. No. 3(135) p. 91–95.

2. *Малоземова, О. В.* Морфометрическая характеристика озер в различных ландшафтах востока Ленинградской области / О. В. Малоземова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. Сер. Естествознание. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2012. № 114. С. 112–121.

3. *Лопух П. С., Якушко О. Ф.,* Общая лимнология [Электронный ресурс] : пособие для студентов геогр. фак. / П. С. Лопух, О. Ф. Якушко. Минск : БГУ, 2011. Режим доступа: http://www.elib.bsu.by. Дата доступа: 15.09.2023.

4. *Кириченко Л.А., Волчек, А. А.* Трофическое состояние и способность к самоочищению водоемов урбанизированных территорий Юго-Запада Беларуси в 2020 г. / Л. А. Кириченко, А. А. Волчек // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы : навуковы часопіс. 2024. Т. 14, № 1. С. 177–186.

5. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Комплексная оценка экологического риска и расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы в зонах отдыха Беларуси : ТКП 17.06-17-2018 (33140), BY. Введ. 01.06.19. Минск : Минприроды, 2019. III, 19 с.

6. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Требования по содержанию поверхностных водных объектов в надлежащем состоянии и их благоустройству : ЭкоНиП 17.06.08-003-2022. Введ. 15.05.2022. Минск : Минприроды, 2022. 28 с.

7. СанПиН от 05.12.2016 №122. Санитарные нормы и правила «Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании» Введ. 27.12.2016. Минск : РНПЦГ. 8 с.

8. *Carlson R. E.* A trophic states index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. V. 22, N 22. P. 361–369.

9. *Злывко А. С., Чеснокова С. М., Бородина И. А.* Антропогенная трансформация и самоочищающая способность малой реки / А. С. Злывко, С. М. Чеснокова, И. А. Бородина // Теоретическая и прикладная экология. 2012. №3 С. 44–49.

10. *Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л. И.* Оценка трофического состояния поверхностных вод : монография / Е. Неверова-Дзиопак, Л. И. Цветкова. СПб. : СПбГАСУ, 2020. С. 33–46.

11. *Кириченко Л. А., Волчек, А. А.* Оценка рекреационной привлекательности водоемов урбанизированных территорий юго-запада Беларуси по гидроморфологическим показателям / Л. А. Кириченко, А. А. Волчек // Природопользование. 2024. №1 С. 54–67.

12. *Соловьева В. В., Лапиров А. Г.* Гидроботаника : учебник для высших учебных заведений / В. В. Соловьева, А. Г. Лапиров Самара : ПГСГА, 2013. 354 с.

ВЛИЯНИЕ ПОСАДОК БЫСТРОРАСТУЩИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ ВОД И СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ

В. Н. Копица[1)], **Е. А. Другаков**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, v_kapitsa@iseu.by*

В статье рассмотренная связь между быстрорастущими древесными растениями семейства Salicaceae и уровнем грунтовых вод, а также на связь быстрорастущих древесных растений рода Salicaceae и общим состоянием почвы с учётом уровня грунтовых вод. Была определена связь между ротационной вырубкой данных видов деревьев и уровня грунтовых вод. На основании полученных данных и научных статей были выделены положительные и негативные факторы влияющие на грунтовые воды и состояние почвы при посадке быстрорастущих древесных растений семейства Salicaceae.

Ключевые слова: грунтовые воды; деградация земель; экосистемные услуги; быстрорастущие древесные растения; ротационная вырубка.

INFLUENCE OF PLANTING FAST GROWING WOODY PLANTS ON GROUNDWATER LEVEL AND SOIL CONDITION

U. Kapitsa[1)], **E. Drugakov**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, v_kapitsa@iseu.by*

The article examines the relationship between fast-growing woody plants of the Salicaceae family and the groundwater level, as well as the relationship between fast-growing woody plants of the Salicaceae genus and the general condition of the soil, taking into account the groundwater level. The relationship between rotational felling of these tree species and the groundwater level was determined. Based on the data obtained and scientific articles, positive and negative factors influencing groundwater and soil condition when planting fast-growing woody plants of the Salicaceae family were identified.

Keywords: groundwater; land degradation; ecosystem services; fast-growing woody plants; rotational logging.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-99-102

Посадка быстрорастущих древесных растений (БДР), таких как ива, тополь широко применяется в лесоводстве и природовосстановительных проектах. Эти виды обладают высокой способностью к поглощению воды, что может значительно влиять на уровень грунтовых вод и состояние почвы. В данной статье рассматриваются изменения уровня грунтовых вод при посадке данных деревьев.

Уровень и состав грунтовых вод являются ключевыми факторами, определяющими здоровье экосистем, особенно в контексте посадки быстрорастущих древесных растений. С увеличением интереса к их использованию для решения экологических проблем, таких как восстановление деградированных земель и борьба с эрозией, возникает необходимость в более глубоком понимании потенциальных последствий их внедрения. Одним из основных опасений является возможность истощения водоносных горизонтов, что может привести к снижению доступности пресной воды для местных сообществ и экосистем [1].

На сегодняшний день проводится много работ по исследованию воздействия посадок быстрорастущих древесных культур на уровень грунтовых вод, перенос ими растворимых соединений азота и фосфора, вызывающих как загрязнение почв, грунтовых вод, так и эвтрофикацию поверхностных водоемов. Такие работы проводятся в Германии, Сербии, Польше. Подобные работы проводились и в Беларуси, в том числе и в МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ [3].

Интересные исследования воздействия БДР на грунтовые воды были проведены в районе Рейнхаузен (Нижняя Саксония), наблюдения являлись многолетними и велись в течении 20 лет [2]. Из данных, приведённых на рисунке 1 видно, что бесконтрольная посадка быстрорастущих древесных растений, то есть без ротационной вырубки приводит к тому, что уровень грунтовых вод снижается практически экспоненциально, по отношению к площади посадки БДР до 44 % при доли насаждений БДР в 50 % костальным сельскохозяйственным культурам посаженым на тех землях. Однако если при посадке БДР проводилась ротационная вырубка древесных насаждений, то уровень грунтовых вод даже с поправкой на засушливые сезоны составлял 86 % от своего первоначального значения при тех же площадях посадки в 50 %.

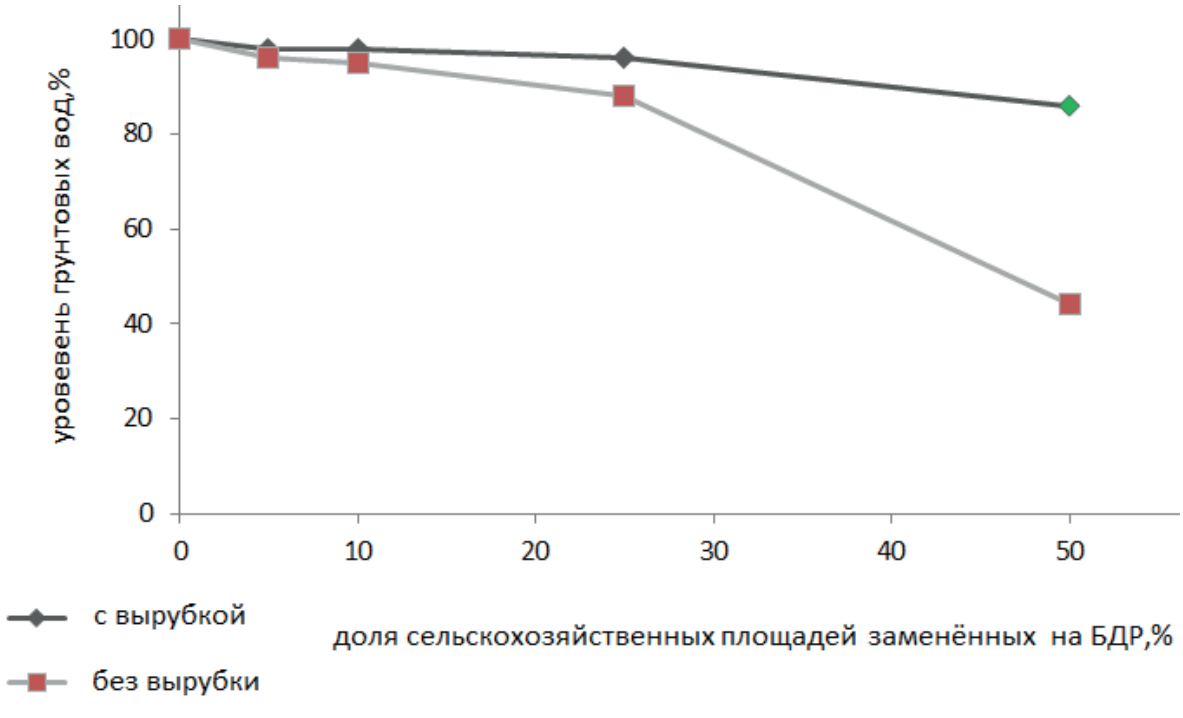


Рис. 1. Изменение уровня подземных вод
под плантаций быстрорастущих культур[1]

Полученные данные показывают важность проведения вырубок на больших площадях насаждений БДР и о важности контроль уровня грунтовых вод является важным аспектом устойчивого управления лесными ресурсами, который обеспечивает баланс между экономическими интересами и сохранением экосистемных услуг, предоставляемых быстрорастущими древесными растениями.

Кроме того, изменение уровня грунтовых вод может вызвать деградацию почв, что негативно скажется на агрономических условиях и способности почвы поддерживать разнообразие растительных и животных видов. В условиях изменения климата, когда засушливые периоды становятся более частыми и продолжительными, контроль показателей уровня грунтовых вод становится особенно актуальным.

Изменение уровня грунтовых вод:

1. Поглощение воды растениями: Быстрорастущие древесные растения требуют значительных объемов воды для своего роста. Их корневая система активно поглощает влагу из почвы, что может привести к снижению уровня грунтовых вод. Исследования показывают, что в условиях высокой плотности посадки уровень грунтовых вод может существенно понижаться, особенно в засушливые периоды.

2. Заболачивание и дренаж: в некоторых случаях, особенно при неправильном управлении водными ресурсами, посадка быстрорастущих древесных растений может привести к заболачиванию определенных участков. Это может быть вызвано изменением химического состава почвы, что влияет на дренажные свойства и доступность влаги [4].

Быстрорастущие древесные растения, такие как тополь ива, способны увеличивать содержание органического вещества в почве за счет своей высокой биологической продуктивности. Исследования показывают, что растительность способствует накоплению растительных остатков, что в свою очередь повышает уровень гумуса в почве. Корневая система быстрорастущих древесных растений способствует улучшению структуры почвы, что улучшает её аэрацию и водопроницаемость. Это, в свою очередь, влияет на корневую систему других растений и способствует их развитию [3; 4].

Быстрорастущие древесные растения активируют почвенную микробиоту, увеличивая её разнообразие и численность. Это приводит к улучшению процессов разложения органического вещества и увеличению доступности питательных веществ для других растений Некоторые быстрорастущие древесные растения обладают свойствами биоремедиации, позволяя очищать почву от загрязняющих веществ. Например, эвкалипты могут поглощать тяжелые металлы и другие токсины, что способствует восстановлению загрязнённых почв [4].

Позитивные эффекты возникающие при посадках БДР:

1. Улучшение качества почвы: Быстрорастущие древесные растения способствуют улучшению структуры почвы и увеличению ее плодородия. Их корни помогают удерживать влагу и предотвращать эрозию, что может привести к более стабильному уровню грунтовых вод в долгосрочной перспективе.

2. Снижение уровня углекислого газа: Посадки деревьев способствуют поглощению углекислого газа, что положительно сказывается на климате и экосистеме в целом. Это может помочь в борьбе с изменением климата и его влиянием на уровень грунтовых вод.

3. Посадки быстрорастущих древесных растений за счет активного потребления почвенных растворов, не только способны регулировать уровень грунтовых вод, но и перехватывать довольно большие объемы растворимых биогенных соединений азота и фосфора, выполняя роль биологических фильтров. В результате этого с помощью плантаций ивы и тополя можно не только регулировать уровень грунтовых вод, но и снижать попадание в грунтовые и поверхностные воды соединения азота и фосфора, которые вызывают эвтрофикацию поверхностных водоемов [3].

Негативные эффекты при посадках БДР

1. Иссушение почвы: в условиях интенсивного роста быстрорастущие древесные растения могут приводить к значительному иссушению почвы, особенно в районах с ограниченными водными ресурсами. Это может негативно сказаться на местной флоре и фауне, а также вызвать проблемы с доступом к воде для других растений [5].

2. Конкуренция за ресурсы: Быстрорастущие растения могут конкурировать с местными видами за влагу и питательные вещества, что может привести к снижению биоразнообразия и изменению экосистемных процессов.

Регулярный мониторинг этих показателей позволяет не только предсказать возможные негативные последствия, но и разработать стратегии управления, направленные на минимизацию рисков. Это включает в себя адаптацию методов лесоводства, выбор оптимальных видов растений и внедрение технологий, способствующих сохранению водных ресурсов.

В Заключение можно сказать, что посадка быстрорастущих древесных растений оказывает значительное влияние на уровень грунтовых вод и состояние почвы. В то время как они могут способствовать улучшению качества почвы и поглощению углекислого газа, необходимо учитывать риски, связанные с иссушением почвы и конкуренцией за ресурсы. Эффективное управление водными ресурсами и выбор подходящих видов растений могут помочь минимизировать негативные последствия и максимизировать преимущества для экосистемы.

Библиографические ссылки

1. Fast growing plantations for wood production– integration of ecological effects and economic perspectives/ Michael Bredemeier [et al.] Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, June 2015 Vol. 3, iss. 1. P. 1–14.
2. Groundwater levels and their effect on tree growth in riparian ecosystems / Hofmann, M., [et al.] // Journal of Hydrology, 2018. Vol. 556, P.123-134.
3. Методика контроля антропогенной нагрузки на водные объекты на основе использования вегетативных фильтров / О. И. Родькин [и др.] // Радиация, экология и техносфера = Radiation environment and man – risk faktor : материалы респ. науч.-практ. конф., Гомель, 3–4 дек. 2015 г. / Ин-т радиологии ; редкол.: И.А. Чешик (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2015. С. 111–114.
4. *Davis A. S., Jacobs R.* Soil chemistry and tree growth: The role of groundwater.// Forest Ecology and Management, 2020. 458, 117701
5. Drought tolerance in fast-growing tree species: Implications for forestry./ Smith, J. R., [et al.] // Tree Physiology, 2019. Vol. 39 4, P.543-556.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТОВЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НИТРАТАМИ

В. Н. Копиця[1)], **Н. А. Юцко**[1)], **В. Л. Алейников**[1)], **Д. И. Петрашкевич**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, v_kapitsa@ iseu.by*

На основании официальных статистических данных рассмотрена и проведенных личных исследований проблема загрязнения грунтовых и поверхностных вод нитратами, их источники. Приведены основные показатели загрязнения водных объектов в Республике Беларусь, включая среднегодовые концентрации нитратов и фосфатов в реках и озерах. Методом капиллярного электрофореза были определены концентрации хлорид, нитрит, сульфат, нитрат, фторид, фосфат-ионов в пробах грунтовых вод взятых из неглубоких шахтных колодцев в Вилейском районе Минской области. Дана качественная характеристика состояния грунтовых вод. Установлено, загрязнение нитратами порядка 30 % колодцев.

Ключевые слова: загрязнение воды; нитраты; мониторинг; методы анализа; капиллярный электрофорез; источники загрязнения.

POLLUTION OF GROUND AND SURFACE WATERS WITH NITRATES

U. Kaptsa[1)], **M. Yutsko**[1)], **V. Aleinikov**[1)], **D. Petrashkevich**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, v_kapitsa@ iseu.by*

Based on official statistical data and personal research, the problem of ground and surface water pollution with nitrates and their sources is considered. The main indicators of water pollution in the Republic of Belarus are given, including average annual concentrations of nitrates and phosphates in rivers and lakes. Concentrations of chloride, nitrite, sulfate, nitrate, fluoride, and phosphate ions in groundwater samples from shallow shaft wells in the Vileika district of the Minsk region were determined by capillary electrophoresis. A qualitative characteristic of the groundwater condition is given. It was found that about 30 % of wells are contaminated with nitrates.

Keywords: water pollution; nitrates; monitoring; methods of analysis capillary electrophoresis; pollution sources.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-103-107

Нитратное загрязнение водоемов представляет серьезную экологическую проблему, связанную с интенсификацией сельского хозяйства, нерациональным использованием удобрений и отходами животноводческих комплексов. Попадание нитратов в водную среду оказывает негативное влияние на экосистемы и может представлять угрозу для здоровья населения.

Основными источниками нитратов в поверхностных и грунтовых водах являются:

– Минеральные удобрения, используемые в сельском хозяйстве;

– Навоз и другие органические удобрения;

– Сточные воды промышленных и бытовых предприятий;

– Атмосферные осадки, содержащие соединения азота.

Нитраты попадают в водные объекты в результате вымывания из почвы, инфильтрации дождевых и талых вод, а также прямого сброса загрязненных стоков. В грунтовых водах ни-

траты могут накапливаться из-за их высокой растворимости, слабой сорбции в почвенном слое, а также отсутствия самоочистки в грунтовых водах.

Избыток нитратов в природных водах может привести к различным негативным явлениям, среди которых выделяют:

– эвтрофикацию водоемов, что вызывает массовое цветение водорослей и ухудшение качества воды снижения концентрации кислорода в воде;

– угрозе для здоровья человека, так как нитраты могут вызывать метгемоглобинемию («синдром голубого младенца») и быть предшественниками канцерогенных нитрозаминов;

Нормирование безопасного содержания нитратов в воде осуществляется СанПиН Беларуси в поверхностных водных объектов ПДК нитратов – 40,0 мг NO3/л, в питьевой воде (в подземных водных объектах) ПДК нитратов – не более 45,0 мг NO3/л [1].

На основании данных Государственного комитета по статистике [2], были проанализированы результаты мониторинга поверхностных и грунтовых вод в бассейнах крупных рек Беларуси по оценке содержания нитратов (28 водоёмов, а также по станциям мониторинга подземных вод в границах бассейнов рек Двина, Западная Днепр, Западный Буг, Неман и Припять.)

Анализ вышеуказанных данных показал, что в поверхностных водоемах концентрация нитратов не превышает ПДК (в реках концентрация нитрат-ионов варьировала от 3.23 до 11,47 мг/л, а в озерах – с 0,09 до 15,23 мг /л за период наблюдения с 2005 по 2023 гг). Объяснение низкому содержанию нитратов в поверхностных водах можно найти в том, что нитраты быстро перехватываются растениями, сине-зелёными и другими водорослями, как источник питания, за счёт чего и возникает эвтрофикация.

Анализ официальных данных по содержанию нитратов в грунтовых водах показал наличие превышения нитратов в отдельных пробах по максимальным значениям. В среднем по Беларуси превышение показано в 11,7 % источников, хотя по отдельным бассейнам (Неманский) достигало 30 %.

В период 2010 по 2016 гг. в Беларуси проводился проект при поддержке Минприроды по оценке содержания нитратов в грунтовых водах с использованием экспресс-метода определения (тест-полоски). К участию в определении было привлечено большое количество школ различных регионов Беларуси. В результате удалось обеспечить не только большой охват территории страны, но и классифицировать источники воды, из которых шел отбор проб. Источники нецентрализованного водоснабжения были разделены на скважины, колонки, шахтные колодцы, родники (криницы). Результаты исследований наносились на карту Беларуси на специально созданном в рамках проекта сайте watercontrol.by [3].

Сводные результаты выполненных анализов представлены на рисунке 1. Причем была возможность отселектировать точки отбора проб, где результаты анализа превысили норматив качества содержания нитратов в питьевой воде (45 мг/л [1]).

Данные проекта показали довольно высокое распространение источников с повышенным содержанием нитратов воде. Причем превышение варьировало в больших пределах (от 46 до 500 мг/л) даже в пределах одного региона (рис.1).

Статистика проекта Watercontrol.by позволяет вывести некоторые закономерности: в колонках, криницах и глубоких колодцах содержание нитратов, как правило, меньше чем в неглубоких и шахтных колодцах [3].

Анализ данных, выполненный участниками проекта, показал, что максимальные показатели по содержанию нитратов, находились в местах влияния полей с интенсивным земледелием, а значит и высоким уровнем использования селитры, зонах воздействия животноводческих ферм, местах неправильного хранения удобрений или навоза.

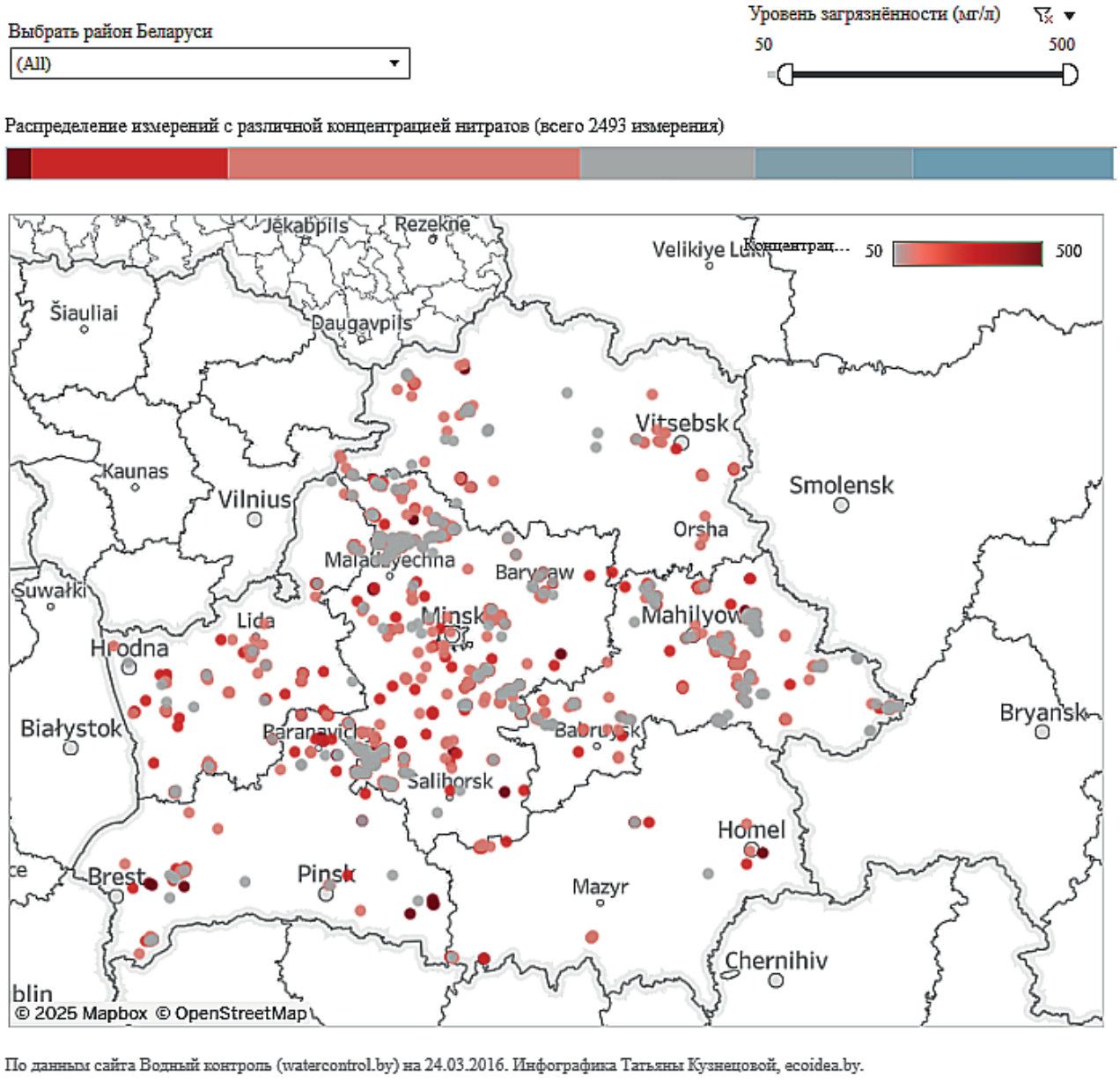


Рис. 1. Содержание нитратов в грунтовых водах Беларуси (включая все источники нецентрализованного водоснабжения) с превышением ПДК (45 мг/л) [3]

Методы определения идентификации нитратов в воде

Существует несколько методов для определения содержания нитратов в воде. Вот некоторые из них:

1. **Колориметрический метод с фенолдисульфокислотой:** Этот метод основан на реакции между нитратами и фенолдисульфоновой кислотой, в результате которой образуются нитропроизводные фенола, окрашенные в желтый цвет.
2. **Ионная хроматография:** Этот метод позволяет разделять и определять ионы нитратов в воде с помощью хроматографической колонки и детектора.
3. **Электрохимические методы:** Включают использование ионоселективных электродов для измерения концентрации нитратов в воде.
4. **Метод восстановления кадмия:** В этом методе нитраты восстанавливаются до нитритов с помощью кадмия, а затем определяются с помощью колориметрического анализа.

5. **Капиллярный электрофорез (КЭ)** – это метод разделения и анализа ионов и молекул, основанный на их движении в электрическом поле через тонкий капилляр, заполненный электролитом. Этот метод используется для разделения веществ по их заряду и размеру.

Метод капиллярного электрофореза (КЭФ) – инструментальный метод анализа, основанный на различии подвижности компонентов в электрическом поле внутри кварцевого капилляра.

Основные принципы метода:

– Компоненты разделяются по заряду и массе под воздействием электрического поля.

– Электроосмотический поток (ЭОП) способствует перемещению жидкости внутри капилляра.

– Полученная электрофореграмма отображает пики веществ, позволяя их идентифицировать и количественно определить [4].

Преимущества КЭФ:

– Высокая эффективность разделения по сравнению с высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ).

– Малый расход реагентов.

– Быстрота анализа.

– Простая и автоматизированная аппаратура.

– возможность одновременного определения содержания нескольких анионов (NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}, Cl^-, F^-).

Оборудование:

– Кварцевый капилляр.

– Источник высокого напряжения (до 30 кВ).

– Детектор, чаще всего УФ-спектрофотометр.

– Система обработки данных.

Применение:

– Экологический мониторинг (анализ воды на катионы, анионы).

– Пищевая промышленность (определение консервантов, витаминов, подлинности продуктов).

– Фармацевтика и медицина (анализ лекарств, биологических жидкостей).

– Судебная экспертиза (анализ наркотиков, взрывчатых веществ).

– Научные исследования [4].

Аппараты серии «Капель»:

Компания «Люмэкс» разработала несколько модификаций приборов КЭФ, отличающихся по типу детектора, методу охлаждения капилляра, автоматизации подачи проб и обработке данных.

Таким образом, капиллярный электрофорез является современным, точным и эффективным методом анализа, широко применяемым в различных областях науки и промышленности.

В МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ были проведены исследования содержания анионного состава воды и источников нецентрализованного водоснабжения (колодцы, крыницы, колонки в сельской местности) с использованием метода капилярного электрофореза. Отбор проб проводился в Вилейском, Логойском, Могилевском районах.

Наши исследования, проведенные с использованием прибора капиллярного электрофореза «Капель 105», показали, что в сельских колодцах основными загрязнителями воды могут быть нитраты и, в гораздо меньшем количестве, нитриты. Загрязнение нитратами в Вилейском районе зарегистрировано более, чем в 30 % колодцев. В то же время, содержание хлоридов, фосфатов, сульфатов не превышало ПДК, а содержание фторидов – было ниже необходимой для человека нормы (0,5 мг/л) в 2-3 раза [5].

Практически все исследуемые колодцы находились вблизи или непосредственно на приусадебном участке. Поэтому близкое расположение колодцев к сельскохозяйственным постройкам может также быть причиной высокого содержания нитратов и нитритов. Доказательством наличия такого воздействия является и то, что во взятых для сравнения образцах воды из священных источниках в Логойске (Минская область) и Палыковичской крыницы, что под Могилевом (памятники природы), превышения содержания нитратов не обнаружено (ниже ПДК в 5 раз) [5].

Библиографические ссылки

1. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99 // Постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь 19.10.1999 № 46

2. Биогенные вещества в пресной воде [Электронный ресурс]. URL: www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/c-11-biogennye-veschestva-v-rechnoi-vode/ (дата обращения 12.02.2025).

3. Сколько нитратов в белорусской воде [Электронный ресурс]. UR: https://ecoidea.me/ru/article/1316 (дата обращения 12.02.2025).

4. Современные методы лабораторных физико-химических исследований: лабораторный практикум / Копиця В.Н. и др. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2013. 64 с

5. Копиця В.Н., Попкова Е.Н. Состояние грунтовых вод // Техника безопасности. 2009. №5. С. 27-30.

ПЫЛЕФИЛЬТРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПАРТИЗАНСКОГО ПРОСПЕКТА Г.МИНСКА

Н. И. Кравченя[1)], **А. Г. Чернецкая**[1)], **Н. П. Стригельская**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, e-mail: ankona@list.ru*

К деревьям, используемым для озеленения городов, предъявляется ряд специфических требований. Линейные посадки деревьев и кустарников вдоль дорог снижают концентрацию пыли в транспортной зоне на 10–15 %. Раньше широко практиковалось озеленение конкретной улицы единственной породой дерева, экземпляры которого располагались на более или менее одинаковых расстояниях друг от друга. Такие одновидовые насаждения особенно чувствительны к неблагоприятным погодным условиям, например, засухе. Минск – крупный город, который имеется большой поток транспортных средств. И как следствие этого, вопрос состояния окружающей среды в городе становится все более актуальным. Авторы предложили результаты исследования по изучение пылефильтрующей способности древесных насаждений магистралей г. Минска на примере Партизанского проспекта.

Ключевые слова: древесные насаждения; транспортные магистрали; видовой состав; доминантный вид; пылефильтрующая способность.

DUST-FILTERING ACTIVITY OF TREE PLANTATIONS ON EXAMPLE OF PARTIZANSKY AVENUE OF MINSK CITY

N. I. Krauchenia[1)], **A. G. Chernetskaya**[1)], **N. P. Strigelskaya**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, ankona@list.ru*

Trees used for urban landscaping have a number of specific requirements. Linear plantings of trees and shrubs along roads reduce dust concentration in transport zones by 10–15 %. Previously, it was common to landscape a specific street with a single species of tree, with specimens placed at more or less equal distances from each other. Such monoculture plantings are particularly sensitive to adverse weather conditions, such as drought. Minsk is a large city with a high volume of traffic. Consequently, the issue of environmental conditions in the city is becoming increasingly relevant. The authors presented the results of a study on the dust-filtering capacity of tree plantations along the highways of Minsk, using Partizansky Avenue as an example.

Keywords: tree plantations; transportation routes; species composition; dominant species; dust-filtering activity.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-108-112

Деревья – один из важнейших элементов городского ландшафта. В современных городах зеленые насаждения выполняют множество функции. Санитарно-гигиенические качества зеленых насаждений основаны на высоких газопоглотительных и аккумуляционных свойствах растительности. В зеленых зонах микрорайонов запыленность воздуха снижается на 40–50 %. Линейные посадки деревьев и кустарников вдоль дорог снижают концентрацию пыли в транспортной зоне на 10–15 % [1; 5].

К деревьям, используемым для озеленения городов, предъявляется ряд специфических требований. Раньше широко практиковалось озеленение конкретной улицы единственной породой дерева, экземпляры которого располагались на более или менее одинаковых расстояниях друг от друга. Такие одновидовые насаждения особенно чувствительны не только к вре-

дителям и инфекционным болезням, но и к неблагоприятным погодным условиям, например, засухе. Поэтому желательно использовать для озеленения даже небольших площадей несколько сочетающихся по форме и размеру древесных пород [2].

Минск – крупный город, на территории, которого размещено множество различных предприятий, и имеется большой поток транспортных средств. И как следствие этого, вопрос состояния окружающей среды в городе становится все более актуальным.

Целью нашего исследования являлось определение пылефильтрующей способности древесных насаждений магистралей и улиц г. Минска на примере Партизанского проспекта.

Большие площади Минска зарезервированы под зелёные насаждения и парки. Однако в черте города продолжают работать крупные промышленные предприятия, а число автомобилей постоянно растёт. В тёплое время года в городе неоднократно превышается предельно допустимая концентрация формальдегида в воздухе. В некоторых районах остро стоит проблема загрязнения воздуха диоксидом азота и твёрдыми частицами размером менее 10 микрон (ТЧ10) [3].

В городской среде пыль, оседаемая на деревьях имеет разные составляющие: животные и растительные компоненты и неорганические вещества, химические соединения. В состав городской пыли входят и такие вредные для здоровья человека вещества, как кадмий, свинец, примеси кальция, меди, железа, хрома. Эти вещества появляются в воздухе в результате движения автотранспорта, а в зимний период количество пыли увеличивается за счет использования шипованных шин, т.к. идет износ дорожного полотна. Наибольший вред здоровью наносит мелкодисперсная пыль и аэрозольные вещества, т.к. они оседает в легких и бронхах, при постоянном вдыхании приводит к возникновению серьезных заболеваний. Озелененные участки между проезжей частью и зданиями играют роль санитарной полосы, которая осаждает на себя пыль, газообразные и химические вещества, микроорганизмы, радионуклиды из окружающей среды, и обогащает воздух кислородом [4].

Все древесные растения способны механически удерживать пыль и химические соединения из окружающего воздуха. При этом пылезадреживающая способность у различных растений выражена в неодинаковой степени. Мы оценили способность древесных растений осаждать атмосферную пыль. Адсорбируемую пыль на поверхность листьев и побегов мы разделили на две фракции – растворимую в воде (это сульфаты и нитраты с нитритами) и нерастворимую в воде.

Для оценки пылефильтрующей способности древесных растений были заложены пробные площади в зеленых насаждениях города, расположенных на различных расстояниях от магистрали с интенсивным движением около 8000 автомобилей в час. Наблюдения проводились в течение года на расстоянии 1, 5, 10, 100 и 1000 м от дороги. Отбор листьев проводился методом средней пробы в центре с двух сторон (со стороны автомагистрали и со стороны тротуара) или с южной стороны кроны 4 – 6 раз в течение вегетации с 10 деревьев одного вида в каждой зоне загрязнения. не менее 10 побегов отбиралось с каждого дерева. фиксация листьев проводилась высушиванием в термостате. Определение общей серы и азота в листьях проводилось по уже известным методикам на спектрофотометре КФК – 3 [5; 6]. Количество адсорбированной пыли и газов определялось по специально разработанной методике: листья перед высушиванием отмывались в 50 мл воды, затем количество твердого осадка определялось на фильтре после высушивания. Количество адсорбированных газов определялось также колориметрически на КФК-3 [6].

Первый этап исследования был проведен в сентябре 2023 года. Объектами исследования стали насаждения зеленой полосы участка по Партизанскому проспекту, в непосредственной близости от корпуса Белорусского государственного экономического университета (Партизанский проспект, 26). Данная пробная площадка находится в центре города и испытывает неблагоприятное воздействие автотранспорта, интенсивность движения которого в среднем 2560 маш./ч.

Были изучены следующие виды растений: боярышник крупноплодный (*Crataegus aestivalis* Walter.) Torr. and A. Gray), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), яблоня домашняя (*Malus domestica* L.).

В ходе данного исследования листья с деревьев отбирали только со стороны проезжей части на расстоянии 1–1,5 м от нее, на высоте 1,5-2,5 м. С каждого вида было собрано 90 листьев, из них были составлены 3 пробы по 30 шт. Для определения количества адсорбированной пыли листья отмывали в 100 мл дистиллированной воды, затем количество твердого осадка определяли весовым методом на фильтре после высушивания. Площадь листьев определяли методом отпечатков путем обведения контуров листовых пластинок на бумаге и взвешиванием вырезанных образцов в сравнении с массой квадрата 10×10 см из той же бумаги. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пылезадерживающая способность листьев древесных растений (на примере основной транспортной магистрали Партизанского проспекта, 2023)

Наименование вида	Пылезадерживающая способность листьев, г / кв.м
Боярышник крупноплодный *(C. aestivalis)*	0,4 ± 0,05
Конский каштан обыкновенный *(A. hippocastanum)*	1,0 ± 0,18
Липа мелколистная *(T. cordata)*	3,0 ± 0,11
Рябина обыкновенная *(S. aucuparia)*	0,8 ± 0,16
Яблоня домашняя *(M. domestica)*	0,8 ± 0,06

Все древесные и кустарниковые виды мы разделили на 3 группы по интенсивности накопления пыли.

1. *С максимальной пылефильтрующей способностью, абсорбирующей до 5 г/м² ассимиляционной поверхности:*

1. Ясень пушистый *Fraxinus pubescens* Marsh.
2. Клен ясенели́стный, или клён америка́нский *Ácer negúndo* Maxim.
3. Тополь черный *Populus pyramidalis* Rozier
4. Вяз перисто-ветвистый *Ulmus pinnatoramosa* Diech.
5. Лох серебристый *Elaeagnus argentea* Purch.
6. Чубушник веничный *Philadelphus coronarius* L.
7. Рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L.
8. Береза повислая *Betula pendula* Roth.
9. Липа мелколистная *Tilia cordata* Mill.
10. Роза морщинистая *Rosa rugosa* Thunb.

2. Со средней пылефильтрующей способностью (до 2 г/м²):

1. Клен остролистный *Acer platanoides* L.
2. Вяз гладкий *Ulmus laevis* Pall.
3. Клен ясенелистный *Acer negundo* L.
4. Снежноягодник белый *Symphoricarpos albus* L.
5. Бузина черная *Sambucus racemosa* L.
6. Карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam.

3. С минимальной фильтрующей способностью (до 0,5 г/ м²):

1. Конский каштан обыкновенный *Aesculus hippocastanum* L.
2. Сирень обыкновенная *Syringa vulgaris* L.

Высокая адсорбирующая способность кустарников связана с тем, что наибольшее количество частиц пыли выпадает именно на высоте кустарников (до 1 м). Листья Снежноягодника белого *Symphoricarpos albus* L.обладали максимальной пылеадсорбирующей способностью по сравнению с другими кустарниковыми видами, причем именно к концу вегетации. Среднегазоустойчивые виды в условиях Минска обладают наибольшей способностью к накоплению пыли, окислов азота и серы на поверхности листьев деревьев.

Мы также попытались определить количественно адсорбирование окислов серы и азота побегами лиственных древесных растений. Побеги отмывались по такой же методике, что и листья [6].

Количество адсорбируемых окислов азота на побегах клена остролистного в зоне максимального загрязнения постепенно увеличивается к концу вегетации. Так, осаждение в июне составило 0 мг/г, в июле – 6,04 ± ± 0,31 и в начале сентября оно увеличивается до 18,12 ± 0,75, при этом адсорбированные частицы полностью смыты с листьев. Количество осажденных окислов азота на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе составило в конце вегетации соответственно 6,11 ± 0,30 и 7,08 ± 0,60.

Количество адсорбированной серы увеличилось к концу вегетации в 2 раза в зоне максимального загрязнения, эта величина была на порядок ниже, чем количество азота, и составила 0,29 + 0,01. Содержание серы, адсорбированной побегами в других зонах, было меньше в 1,5…2 раза.

Самые высокие значения адсорбирования азота и серы побегами наблюдались у ясеня пушистого, липы мелколистной и рябины обыкновенной (рис. 1, 2.).

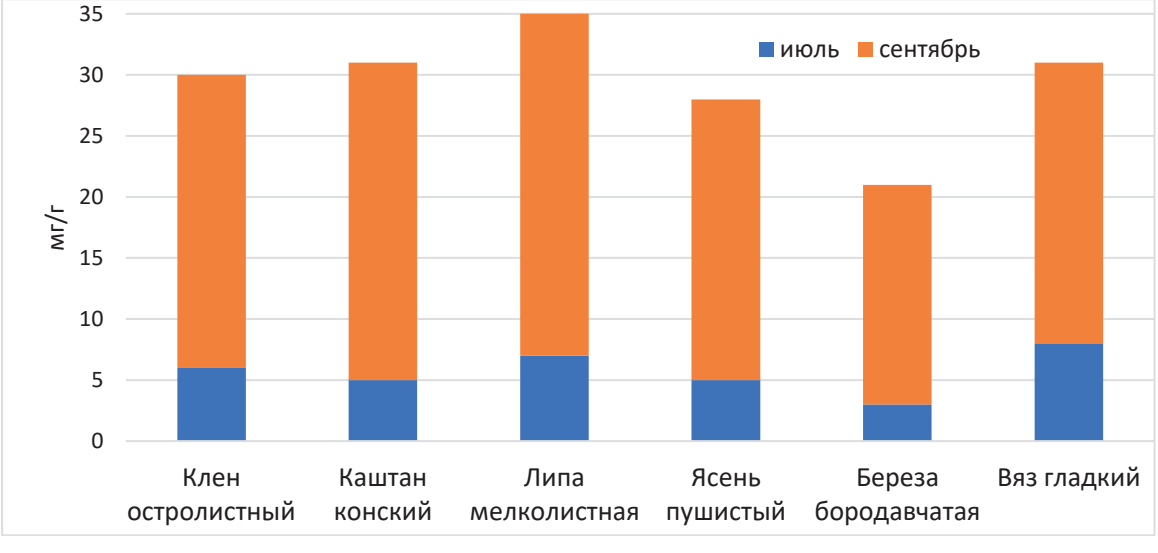


Рис.1. Адсорбирование окислов азота побегами древесных растений в зоне максимального загрязнения, мг/г

Адсобирование окислов азота и серы побегами достоверно снижалось на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе с интенсивным движением в 1,2 и 1,6 раза соответственно. Достоверных различий по отложению этих окислов на побегах всех исследуемых видов в зонах минимального загрязнения не обнаружено. По сравнению с деревьями, произрастающими в городе, побеги в условиях фона не адсорбируют окислы азота, а количество окислов серы составляет всего лишь 5 – 20 % от ее содержания в зоне минимального загрязнения.

Для уменьшения загрязненности городского воздуха пылью предпочтительно увеличивать количество зеленых насаждений и их плотность, используя древесные растения с высокой пылезадерживающей способностью.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Согласно полученным данным, из числа исследуемых растений на Партизанском проспекте наибольшей пылезадерживающей способностью обладала липа мелколистная (3,0 ± 0,11). Наименьшее количество пыли осаждали листья боярышника крупноплодного (0,4 ± 0,05). Между остальными видами существенных статистических различий не выявлено.

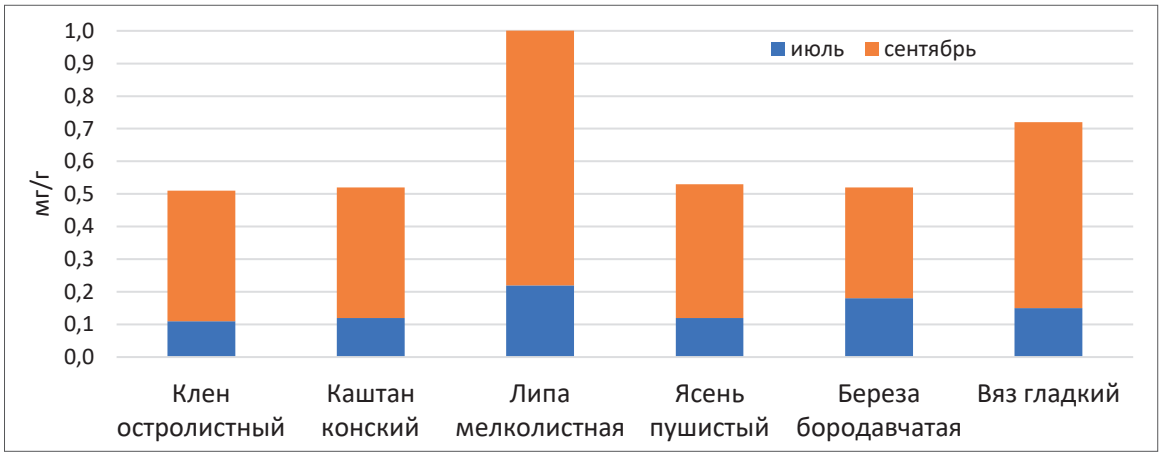


Рис. 2. Адсорбирование окислов серы побегами древесных растений в зоне максимального загрязнения, мг/г

2. Самые высокие значения адсорбирования азота побегами наблюдались у Вяза гладкого (31 мг/г), Конского каштана обыкновенного (31 мг/г) и Клена ясенелистного (30 мг/г), самые низкие – у Березы повислой (21 мг/г). Адсобирование окислов азота побегами достоверно снижалось на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе с интенсивным движением в 1,2 раза.

3. Самые высокие значения адсорбирования серы побегами наблюдались у Липы мелколистной (1,13 мг/г), Вяза гладкого (0,72 мг/г), Ясеня (0,53 мг/г), самые низкие – у Березы повислой (0,52 мг/г). Адсобирование окислов серы побегами достоверно снижалось на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе с интенсивным движением в 1,6 раза. Максимальный эффект пылефильтрации достигается при высадке зеленых насаждений полосами шириной 10-30 м. В центре кроны осаждается до 30 % загрязняющих частиц.

4. В зонах сильного загрязнения в качестве биофильтров рекомендуется использовать: Ясень пушистый Клен ясенели́стный, Тополь черный, Вяз перисто-ветвистый, Лох серебристый, Чубушник веничный, Рябину обыкновенную, Березу повислую, Липу мелколистную, Розу морщинистую.

Библиографические ссылки

1. *Бухарина И. Л., Поварницина Т. М., Ведерников К. Е.* Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография: Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007

2. Инженерная подготовка и благоустройство городских территорий. Владимиров В.В. [и др.]: Москва, Архитектура-С 2016

3. *Какарека С. В., Кравчук Л. А.* К оценке состояния городских древесных насаждений (на примере г. Могилева) // Природопользование-2011 / Минск: БЕЛНИЦ Экология 2011. С.115–134

4. Справочно-статистические материалы по состоянию окружающей среды и природоохранной деятельности в Республике Беларусь (на 1 января 2023 г.) Минск, 2023.

5. *Smit, A.* Europe's Environment. The Dobris Assesment: Edited by David Stanners and Philippe Bourdeau. EEA, Copenhagen, 2015.

6. *Supuka J.* Ecological importance of woody plants in reduction of the reduction on the solid particles impacts in settlements. Folia Dendrologica, 1997.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ ГЭС НА РЕКАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. И. Красовский[1)], **А. А. Бохан**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, vikras@iseu.by*

Рассматриваются перспективы использования погружных свободнопоточных гидроэлектростанций с пассивными магнитными подшипниками на реках Республики Беларусь. Учитываются географические особенности страны, обоснованы преимущества выбора магнитных подшипников перед традиционными вариантами, а также анализируются различные типы турбин. Приведены рекомендации по адаптации технологии к местным гидрологическим условиям, в том числе использование искусственных сужений русла для повышения эффективности. Подчёркивается экономическая и экологическая целесообразность внедрения малогабаритных бюджетных ГЭС, как способа развития возобновляемой энергетики в регионе.

Ключевые слова: погружные гидроэлектростанции; свободнопоточные турбины; магнитные подшипники; возобновляемая энергетика; малые ГЭС.

PERSPECTIVES ON THE USE OF SMALL HYDROPOWER PLANTS ON THE RIVERS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

V. Krasovsky[1)], **A. Bokhan**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, vikras@iseu.by*

The paper explores the prospects of using submerged free-flow hydroelectric power plants with passive magnetic bearings on the rivers of the Republic of Belarus. The study considers the country's geographical features, substantiates the advantages of magnetic bearings over traditional options, and analyzes various turbine types. Recommendations for adapting the technology to local hydrological conditions are provided, including the use of artificial channel narrowing to increase efficiency. The economic and environmental feasibility of implementing small, low-cost hydropower plants is emphasized as a way to develop renewable energy in the region.

Keywords: submerged hydroelectric power plants; free-flow turbines; magnetic bearings; rivers of the Republic of Belarus; renewable energy; small hydropower plants.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-113-116

Республика Беларусь имеет преимущественно равнинный рельеф. Средняя высота территории Республики Беларусь составляет около 160 метров над уровнем моря. При этом около 70 % территории страны занимают низменности с абсолютными высотами до 200 метров. Таким образом, большая часть Республики Беларусь имеет высоты, незначительно превышающие средний уровень на 40 метров. Средний уклон рек в Беларуси составляет 0,2—0,3 м/км, а максимальные значения уклона достигают 2,5 м/км на отдельных участках, что обуславливает относительно низкие скорости течения в большинстве рек, но создаёт локальные зоны с повышенной энергетической перспективностью.

Эти географические особенности существенно ограничивают возможность строительства классических гидроэлектростанций с дамбами, требующих высоких напоров воды. В Республике Беларусь насчитывается более 20 000 рек общей протяжённостью около 90 000 км, что де-

лает перспективным использование малых гидроэнергетических установок. В условиях поиска альтернативных и экологически чистых источников энергии особое внимание привлекают гидроэлектростанции (ГЭС), использующие энергию течения рек. Одним из перспективных решений являются погружные свободнопоточные ГЭС, оснащённые пассивными магнитными подшипниками. Их применение на реках Республики Беларусь может стать важным шагом в развитии возобновляемой энергетики страны.

Принцип работы погружных свободнопоточных ГЭС заключается в использовании кинетической энергии водного потока без необходимости создания плотин или водохранилищ. Вода свободно протекает через турбину, приводя её в движение. Конструкция может фиксироваться несколькими способами: анкерным креплением на дне реки, подвесным креплением на опорах или размещением на плавучих платформах. В условиях Республики Беларусь предпочтительным вариантом является подвесное крепление, так как погружные ГЭС могут устанавливаться только на несудоходных реках. Данный метод позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду и упростить процесс монтажа и технического обслуживания.

Для обеспечения эффективной и надёжной работы турбин важно правильно выбрать тип подшипников. Традиционные подшипники скольжения требуют постоянной смазки, что увеличивает затраты и создаёт риск загрязнения воды. Роликовые подшипники подвержены механическому износу и могут снижать общую эффективность системы. В отличие от них, пассивные магнитные подшипники работают без механического контакта, используя эффект магнитной левитации. Это снижает износ, увеличивает срок службы системы, исключает риск утечек масел и повышает КПД ГЭС. Магнитные подшипники обеспечивают достаточную устойчивость вала при низких скоростях потока, исключая потребность в активной балансировке[4]. Данный вариант подшипников является оптимальным для эксплуатации на реках Республики Беларусь благодаря своей долговечности, экономичности и экологической безопасности.

Рис. 1 Пассивный магнитный подшипник

При выборе турбин для погружных свободнопоточных ГЭС важно учитывать соотношение стоимости и эффективности. Турбины Дарье отличаются простой конструкцией, низкой себестоимостью и позволяют эффективно преобразовывать энергию низкоскоростных потоков воды в электричество[2]. Однако их КПД уступает более сложным технологическим решениям. Турбина Горлова, благодаря особой геометрии лопастей, позволяет значительно повысить эффективность преобразования гидродинамической энергии в механическую, особенно при низких скоростях течения[3]. Хотя такие турбины дороже в производстве и установке, они обеспечивают более стабильную и эффективную работу ГЭС, что делает их предпочтительными для эксплуатации в условиях рек Республики Беларусь.

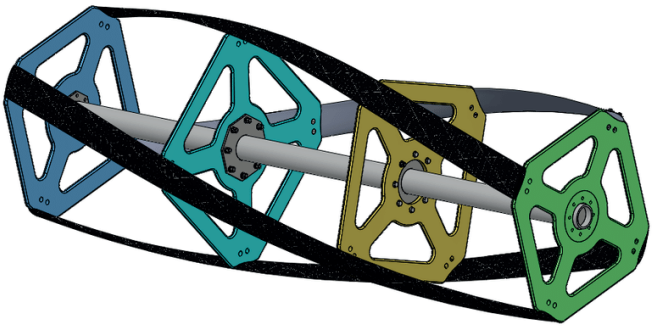


Рис. 2 Турбина Горлова

Адаптация технологии для рек Республики Беларусь требует учёта гидрологических особенностей водотоков. Поскольку реки страны имеют сравнительно невысокие скорости течения, необходимо оптимизировать конструкцию турбин. Для повышения эффективности возможно использование низконапорных турбин, применение модульных конструкций, а также размещение станций в стратегически важных точках с учётом гидрологических условий. Дополнительно может применяться создание искусственных сужений русла реки или использование природного рельефа для увеличения скорости потока и повышения эффективности работы турбины.

Рис. 3 Экспериментальная приливная установка компании The Ocean Renewable Power Company

Перспективным направлением является адаптация технологий, разработанных такими компаниями, как The Ocean Renewable Power Company, Openhydro и New Energetics[1], специализирующимися на приливных электростанциях, к условиям рек с низкой скоростью течения. Эти компании накопили значительный опыт в проектировании и эксплуатации свободнопоточных турбин, способных эффективно работать в условиях низких напоров и переменных течений.

Внедрение погружных свободнопоточных ГЭС с пассивными магнитными подшипниками в Республике Беларусь представляется экологически целесообразным. Такие установки имеют низкие эксплуатационные затраты, быструю окупаемость и не требуют строительства плотин, что минимизирует влияние на экосистему и сохраняет естественное русло реки, что соответствует стратегическим целям устойчивого развития страны. С экономической точки зрения внедрение малых ГЭС в Беларуси представляется целесообразным по нескольким причинам. Во-первых, низкая стоимость строительства и эксплуатации погружных турбин позволяет бы-

стро окупить вложения. Во-вторых, такие установки могут обеспечить стабильное энергоснабжение для удалённых и малонаселённых районов, снижая зависимость от централизованных сетей. В-третьих, возможная поддержка международных организаций в виде грантов и льготных кредитов делает проекты ещё более доступными для реализации.

Важным аспектом успешной реализации технологии является адаптация существующего законодательства. Для обеспечения более гибкого и масштабного внедрения возобновляемых источников энергии, в частности погружных свободнопоточных ГЭС, целесообразно пересмотреть регуляторные ограничения на установку малых ГЭС на несудоходных реках, упростить процедуры согласования и лицензирования, а также внедрить стимулы для частных инвесторов и местных сообществ. Такая законодательная адаптация может стать катализатором развития региональной энергетической инфраструктуры и ускорить переход Республики Беларусь к более устойчивой и экологически чистой энергетике.

Применение погружных свободнопоточных ГЭС с пассивными магнитными подшипниками на реках Республики Беларусь открывает дополнительные перспективные возможности для развития возобновляемой энергетики. Внедрение данной технологии способствует повышению энергетической безопасности страны, снижению зависимости от ископаемого топлива и сохранению природных экосистем. Это позволяет достичь устойчивого развития региона, обеспечивая баланс между экономическими интересами и охраной окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. *Brian Kirke* //Hydrokinetic turbines for moderate sized rivers. 2020. // [Электронный ресурс]. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7487085/ (дата обращения: 10.02.2025).

2. Design of Low Head Hydrokinetic Turbine // [Электронный ресурс] // International Journal of Trend in Scientific Research and Development Vol. 3 Issue 5, August 2019 URL: https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd27865.pdf (дата обращения: 10.02.2025)

3. // Experimental Comparison between Hydrokinetic Turbines: Darrieus vs. Gorlov. Rodolfo Espina-Valdés, [и др.]. 2022. // [Электронный ресурс] Environmental Sciences Proceedings Vol. 21 Issue 1 URL: https://www.mdpi.com/2673-4931/21/1/26

4. *Ferreiro R., Pérez F.J.* Developing Magnetic Bearings for Subsea Oceanic Environments 2014. // [Электронный ресурс] // Journal of Maritime Research 2011 Vol. 8 No.1 URL: https://www.jmr.unican.es/index.php/jmr/article/view/144 (дата обращения: 10.02.2025)

ТВЁРДОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. И. Красовский[1)], **А. В. Васин**[1)], **М. В. Мелеховец**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, vikras@iseu.by*

Твёрдость металлов и сплавов как комплексный параметр, определяющий их эксплуатационные свойства. Рассмотрены факторы, влияющие на твёрдость: химический состав, тип кристаллической решётки, микроструктура, дефекты, а также методы термической и механической обработки. Приведены эмпирические зависимости между твёрдостью и характеристиками материалов, такими как трещиностойкость, предел выносливости и усталостная прочность. Проанализированы методы измерения твёрдости (Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора и др.), их преимущества и недостатки. Особое внимание уделено применению материалов в машиностроении, электронике и энергетике, на основе знаний их твёрдости.

Ключевые слова: твёрдость; металлы; сплавы; методы измерения; микроструктура; эксплуатационные свойства.

HARDNESS OF STRUCTURAL MATERIALS

V. I. Krasovsky[1)], **A. V. Vasin**[1)], **M. V. Melekhovets**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, vikras@iseu.by*

Hardness of metals and alloys as a complex parameter determining their operational properties. The factors influencing hardness are considered: chemical composition, type of crystal lattice, microstructure, defects, as well as methods of thermal and mechanical processing. Empirical dependences between hardness and material characteristics such as crack resistance, endurance limit and fatigue strength are given. The methods of hardness measurement (Brinell, Rockwell, Vickers, Shore, etc.), their advantages and disadvantages are analyzed. Special attention is paid to the use of materials in mechanical engineering, electronics and energy, based on knowledge of their hardness.

Keywords: hardness; metals; alloys; measurement methods; microstructure; operational properties.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-117-121

Твердость металлов и сплавов – это многофакторный параметр, зависящий от состава, микроструктуры, обработки и условий эксплуатации. Понимание и правильное использование этого параметра имеет решающее значение для выбора материала при его применении.

Твёрдость конструкционных материалов, как физическое явление, зависит от следующих факторов:

1. Химический состав: примеси (неконтролируемые примеси, например, сера (S), фосфор (P) могут снижать твёрдость, нарушать структуру); сплавы (добавки в сталь хрома и никеля).
2. Тип кристаллической решётки (объёмно-центрированная кристаллическая (ОЦК), гранецентрированная кристаллическая (ГЦК) и гексагонально плотноупакованная (ГПУ)).
3. Фазовый состав и размер зерна.
4. Дефекты структуры: дислокации, вакансии.
5. Термическая обработка: закалка, отпуск, отжиг.
6. Механическая обработка: наклёп; пластическая деформация.
7. Химико-термическая обработка: азотирование, цементирование, цианирование.

Твёрдость коррелирует со следующими характеристиками материалов:

1. Трещиностойкость (для конструкционных сталей)

$$K = 0{,}075P/C^{3/2}, \text{ кГс/мм}^{3/2},$$

где K – коэффициент трещиностойкости; P-нагрузка, кГс; C-половина длинны трещины, мм.

2. Выносливость (для конструкционных сталей)

$$\sigma_B \approx 0{,}33HB,$$

где σ_B – временное сопротивление разрыву (предел выносливости); HB – твёрдость по Бринеллю.

3. Текучесть (для конструкционных сталей)

$$\sigma_т = 0{,}167HB,$$

где $\sigma_т$ – предел текучести, кГс/мм^2; HB – твёрдость по Бринеллю.

4. Ударная вязкость

Ударная вязкость не имеет прямой формулы перевода, но косвенно связана с прочностью.

5. Усталостная прочность, для грубой оценки используют формулу:

$$\sigma_{-1} \approx (0{,}4 – 0{,}6) * \sigma_т \approx (1{,}4 – 2{,}1) * HB,$$

где σ_{-1} – усталостная прочность; $\sigma_т$ – предел текучести; HB – твёрдость по Бринеллю.

6. Теплопроводность и электропроводность

Выбор метода измерения твёрдости зависит от типа материала (металл, керамика, полимер), толщины образца (массивные детали, тонкие покрытия), требований к точности (лабораторные, полевые условия), цели измерения (контроль качества, научные исследования), наличия необходимого оборудования [5].

1. Метод Бринелля (HB)

Принцип: вдавливание закалённого стального шарика диаметром 1-10 мм под нагрузкой 4500-27000 Н.

Измерение: диаметр отпечатка (d) используется для расчёта твёрдости по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})},$$

где $\frac{2}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$ – формула площади части сферы, HB – твёрдость по Бринеллю; P – нагрузка (кГс/мм^2); D – диаметр индентора (мм); d – диаметр отпечатка(мм).

Применение: мягкие металлы (алюминий, медь), сталь.

Плюсы – не критичны требования к шероховатостям поверхности.

Минусы – не подходит для твёрдых материалов [1].

2. Метод Роквелла (HR)

Вдавливание алмазного конуса (шкалы A, C, D, E, G, H, K, L, M, P) или стального шарика (шкалы B и F) с измерением глубины отпечатка.

Шкалы: HRC Алмазный конус +150 кГс (закалённые стали); HRD стальной шарик +100 кГс (латунь, алюминий).

Применение: быстрый контроль твёрдости металлов.

Плюсы – высокая скорость, автоматизация.

Минусы – требует гладкой поверхности [2].

3. Метод Виккерса (HV)

Принцип: вдавливание алмазной четырёхгранной пирамиды с углом 136° под нагрузкой 1–120 кГс.

Численное значение твёрдости определяется следующей зависимостью:

$$HV = \frac{1.854 * P}{d^2},$$

где HV – твёрдость по Виккерсу; P – нагрузка (кГс/мм^2); d – диаметр отпечатка.

Применение: тонкие плёнки, микроэлектроника.

Плюсы – универсальность, высокая точность.

Минусы – требует полировки [4].

4. Метод Шора (HS)

Принцип: изменение глубины вдавливания алмазного конуса (Шор D) или стального стержня (Шор A) под нагрузкой.

Шкалы: HS A мягкие эластомеры (нагрузка 0,55 кГс); HS D твёрдые пластмассы (нагрузка 5 кГс).

Применение: резина, пластики, покрытия.

Плюсы – простота, скорость, портативность.

Минусы – низкая точность для металлов [3].

5. Метод измерения микротвёрдости (Микро-Виккерс, Кнупа)

Принцип: вдавливание алмазной пирамиды под малыми нагрузками (1 гс – 1 кГс).

Типы инденторов: Виккерс (квадратная пирамида); Кнупа (ромбовидная пирамида, удлинённый отпечаток для анизотропных материалов).

Применение: измерение прочности зёрен и микрозёрен.

Плюсы – высокая точность.

Минусы – сложная подготовка образца.

6. Метод царапания (шкала Мооса)

Принцип: оценка твёрдости по способности материала царапать другие материалы.

Шкала: от 1 (тальк) до 10 (алмаз).

Применение: минералы, керамика.

Плюсы – простота, полевое применение.

Минусы – качественная, а не количественная оценка; шкала не отражает реальной разницы в твёрдости между минералами; шкала включает всего 10 минералов, что не охватывает все возможные значения твёрдости.

7. Динамический метод Шора (склероскоп)

Принцип: измерение высоты отскока стального бойка после падения на поверхность.

Применение: крупные детали (валы, плиты).

Плюсы – не требует подготовки поверхности.

Минусы – низкая точность, зависимость от упругости [6].

8. Ультразвуковой метод

Принцип: измерение скорости ультразвука в материале. Твёрдость коррелирует с акустическим сопротивлением.

Применение: контроль качества в промышленности (например, сварные швы).

Плюсы – неразрушающий метод.

Минусы – требует калибровки.

9. Метод упругого отскока (Либа)

Принцип: ударник с стальным наконечником ударяет по поверхности, измеряется разница в скорости до и после удара.

Применение: бетон, горные породы.

Плюсы – портативность.

Минусы – низкая точность.

10. Метод Мартенса (инструментальная твёрдость)

Принцип: вдавливание индентора с непрерывным измерением глубины и нагрузки (наноиндентирование).

Применение: нанотехнологии, тонкие покрытия, биоматериалы.

Плюсы – измерение модуля упругости и твёрдости.

Минусы – высокая стоимость оборудования.

11. Метод Герберта (для резины)

Принцип: вдавливание стального шарика под нагрузкой 1-5 кГс с измерением остаточной деформации.

Применение: резиновые изделия, уплотнители.

Плюсы – специализирован для мягких материалов.

Минусы – ограниченная область применения.

12. Метод Берковича

Принцип: вдавливание трёхгранной алмазной пирамиды (угол 65°) для анализа микротвёрдости.

Применение: хрупкие материалы (стекло, керамика).

Плюсы: минимальное растрескивание.

Минусы: специальный индентор [7].

Твёрдость является важным параметром при выборе материалов для деталей машин и механизмов, таких как подшипники, валы, шестерни и другие компоненты. Высокая твёрдость обеспечивает устойчивость к износу и длительный срок службы. Твёрдость материала влияет на его обрабатываемость. Например, материалы с высокой твёрдостью сложнее обрабатывать, но они могут выдерживать высокие нагрузки и износ.

Использование знаний о твёрдости в различных отраслях:

1. Машиностроение и металлообработка

Режущие инструменты: резцы, свёрла, фрезы из быстрорежущей стали (HSS) или твёрдых сплавов (карбид вольфрама) – высокая твёрдость обеспечивает износостойкость.

Подшипники и шестерни: Поверхностная закалка (индукционная, азотирование) повышает твёрдость, снижая износ.

Штампы и пресс-формы: используются инструментальные стали (например, D2) с твёрдостью HRC 58–62 для работы под ударными нагрузками.

2. Электроника и микротехнологии

Полупроводниковые покрытия: при использовании необходио знать порог твёрдости, когда можно использовать нитрид кремния (Si_3N_4) защищает микросхемы от механических повреждений.

Дискретные компоненты: Твёрдые керамические подложки (Al_2O_3) в чипах и резисторах.

3. Энергетика

Турбиностроение: лопатки из мартенситных сталей (например, 13CrMo4-5) с высокой твёрдостью и коррозионной стойкостью.

В ядерной энергетике знание твёрдости материалов играет критическую роль в обеспечении безопасности, долговечности и эффективности реакторов.

Ветрогенераторы: подшипники из сталей с твёрдыми покрытиями (TiN) для работы в агрессивных средах [8].

Дальнейшее исследование твёрдости, поиск глубинной связи с критическими эксплуатационными характеристиками материалов в будущем позволит эффективно использовать материалы, включая вновь создаваемые.

Библиографические ссылки

1. *Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П.* «Материаловедение» М.: Машиностроение, 1990 глава
2. *Горячева И. Г., Дроздов Ю. Н.* «Механические свойства и испытания материалов» М.: Машиностроение, 2004
3. *Сёмин Г. И.* «Испытания резин и резинотехнических изделий» М.: Химия, 1989
4. *Горячева И. Г., Дроздов Ю. Н.* «Механические свойства и испытания материалов» М.: Машиностроение, 2004
5. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / под ред. В. С. Чередниченко. 5-е изд., стер. М. : Издательство «Омега-Л», 2009. 752 с. :ил., табл.
6. *Рогов В. А., Тюрин А. Н.* «Испытание резин и резинотехнических изделий» П. 2015
7. *Лурье С. А., Белов П. А.* «Механика конструкционных материалов» Ф. 2015
8. *Гуляев А. П.* «Металоведение» М. 1986

ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛ НА ПРОЧНОСТЬ

В. И. Красовский[1] **Н. Ю. Мидянка**[1] **А. А. Филичкина**[1]

[1] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, vikras@iseu.by.*

Кристаллическая структура твердых тел напрямую влияет на их прочностные характеристики. Дефекты, такие как дислокации и границы зерен, определяют механические свойства материалов, а методы упрочнения позволяют улучшать их эксплуатационные качества. Исследование влияния кристаллического состояния на прочность открывает перспективы создания новых, более прочных материалов.

Ключевые слова: прочность; дефект; кристаллическая решетка.

IMPLICATION OF CRYSTALLIC STATUS OF BODIES ON STRENGTH

V. I. Krasovskiy[1] **N. Y. Midyanka**[1] **A. A. Filichkina**[1]

[1] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University , 23/1 Dolgobrodskaya str., 220070, Minsk, Belarus, vikras@iseu.by.*

The crystal structure of solids directly affects their strength characteristics. Defects, such as dislocations and grain boundaries, determine the mechanical properties of materials, and strengthening methods allow to improve their performance. The study of the influence of crystal state on strength opens prospects for the creation of new, stronger materials.

Keywords: strength; defect; crystal lattice.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-122-126

Прочность материалов – одно из ключевых свойств, определяющих их способность сопротивляться разрушению под воздействием внешних нагрузок. Основополагающим фактором, влияющим на прочностные характеристики твёрдых тел, является их кристаллическая структура. Связь между типом кристаллической решётки, наличием дефектов и механическими свойствами материала представляет собой важный аспект материаловедения и физики твёрдого тела. Рассмотрим механизмы влияния кристаллического состояния на прочность, включая дислокации, легирование и структурные изменения.

Составлено по: [1].

Выделяют такие типы кристаллических решеток:

1. Атомная (ковалентная) решётка

В атомной решётке атомы связаны прочными ковалентными связями, формируя жёсткую структуру. Примеры: алмаз, кремний. Такие материалы обладают высокой твёрдостью, но склонны к хрупкому разрушению. Алмаз, например, является одним из самых твёрдых материалов, но он разрушается при ударе из-за низкой пластичности.

2. Ионная решётка

Формируется за счёт электростатического взаимодействия между ионами. Примеры: хлорид натрия (NaCl), оксид магния (MgO). Они обладают высокой прочностью, но легко разрушаются при сдвиге. Многие керамические материалы основаны на ионных связях, что делает их твердыми, но хрупкими.

Составлено по: [2].

3. Металлическая решётка

Металлы образуют решётки с металлической связью, обладая высокой пластичностью и способностью к деформации. Их прочность может повышаться за счёт упрочняющих механизмов (наклёп, легирование). Например, железо при различных температурах может иметь разную кристаллическую структуру (ОЦК и ГЦК), что влияет на его прочность.Идеальных кристаллических решеток не существует.

Составлено по: [3].

В зависимости от типа нарушения решетки дефекты подразделяются:

1. Точечные дефекты: Вакансии (отсутствие атома в узле) и межузельные атомы могут снижать прочность. Введение примесных атомов может изменить прочностные свойства материала.

2. Линейные дефекты (дислокации): облегчают пластическую деформацию, снижая предел текучести. Дислокации могут накапливаться в материале при механической обработке, влияя на его прочность.

3. Поверхностные дефекты: Границы зёрен повышают прочность (закон Холла-Петча). Чем меньше зерно, тем труднее движутся дислокации, увеличивая прочность материала.

Дислокации – это линейные дефекты, представляющие собой искажения в порядке расположения атомов. Они облегчают пластическую деформацию, снижая прочность материала.

Составлено по: [4].

Механизм скольжения дислокаций: при приложении напряжения дислокации перемещаются, позволяя кристаллу деформироваться. Чем легче перемещаются дислокации, тем ниже прочность материала.

Составлено по: [5].

Дислокационная структура материала характеризуется плотностью дислокаций.

Плотность дислокаций – это число линий дислокаций, пересекающих единичную площадку в кристалле. Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3 (см$^{-2}$; м$^{-2}$):

$$\rho = \frac{1}{V}\sum \quad l$$

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет 10^5–10^7 м$^{-2}$, в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает 10^{15}–10^{16} м$^{-2}$.

Дислокации играют важнейшую роль в теории прочности, пластичности и разрушения металлов. Влияние их на прочность неоднозначно: с появлением дислокаций прочность идеального кристалла резко снижается, но при очень большой их плотности снова начинает расти (рис. 1).

Если плотность меньше значения а, то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющей их движение. В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной 0,5–20 мкм – «усы» с прочностью, близкой к теоретической: для железа $у_в$ =13 000МПа, для меди $у_в$ = 30 000МПа.

При упрочнении металлов увеличение плотности дислокации имеет ограничение. Она не должна превышать значений 10^{15}–10^{16} м$^{-2}$. В противном случае образуются трещины.

Дислокации оказывают влияние на физические свойства кристаллов. Механическая прочность, пластичность. Возникновение дислокаций происходит путем накопления в кристалле точечных дефектов. Дислокации могут быть вызваны ростом кристалла, механическим и термическим напряжениями, а также наличием примесей.

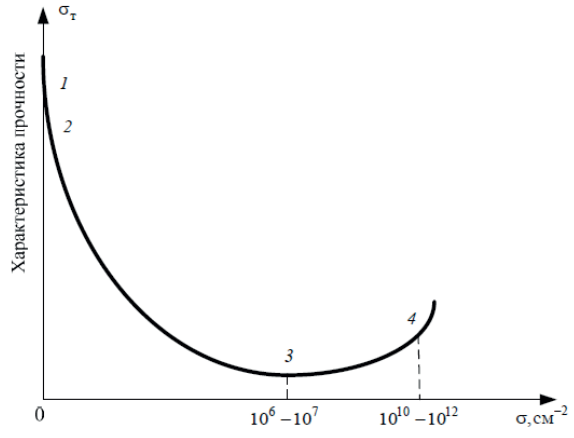


Рис. 1. Влияние плотности дислокаций на прочность: 1 – идеальный кристалл; 2 – «усы», кристаллы с минимальной плотностью дефектов; 3 – отожженные металлы; 4 – сильно деформированные металлы с высокой плотностью дислокаций

Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее напряжение, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в результате обработки поверхности кристалла специальными веществами в местах выхода дислокаций образуются ямки.

Источник: [6].

Связь между временным пределом прочности σ_{VB} и плотностью дислокации ρ:

$$\sigma_{VB} = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где σ_0 – прочность исходного материала (без дислокации); α – коэффициент, учитывающий вклад других механизмов торможения дислокаций; G – модуль сдвига, Мпа; b – вектор Бюргерса (характеризует дислокацию); ρ – плотность дислокаций.

Так как эта формула относится к реальным кристаллам, то с учетом особенностей идеальных кристаллов график зависимости (для железа) будет иметь вид, показанный на рис. 2.

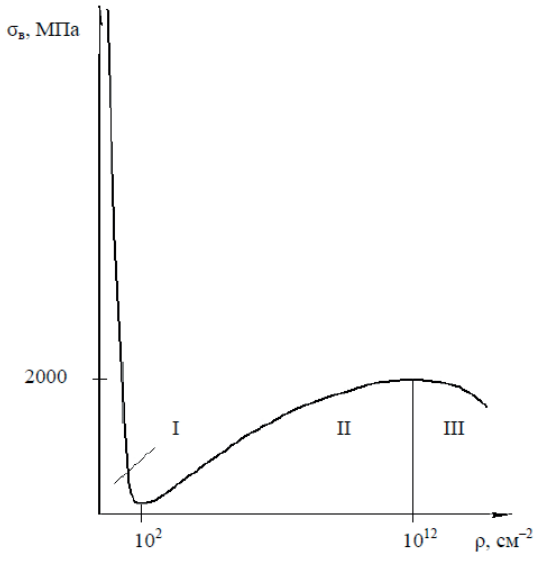


Рис. 2. График зависимости временного сопротивления железа от плотности дислокаций

График зависимости прочности от плотности дислокаций имеет три участка:

1. Резкое снижение прочности из-за появления дефектов.
2. Рост прочности при увеличении плотности дислокаций (до 10^{12} $см^{-2}$).
3. Снижение прочности при пересыщении дислокациями и появлении микротрещин

Повышение прочности – актуальнейшая проблема для кристаллических материалов. Предусматривают различные методы упрочнения, основанные на изменении кристаллической структуры и затруднении движения дислокаций (рис.3).

Деформационное упрочнение (наклёп) – увеличивает плотность дислокаций, препятствуя их движению. Например, холодная прокатка стали повышает её прочность; Измельчение зёрен – чем меньше размер зёрен, тем выше прочность. Данный метод активно применяется в производстве сверхпрочных сплавов; Легирование – введение примесей затрудняет движение дислокаций. Примеры: хром, никель и ванадий в стали; Термическая обработка-закалка и отпуск изменяют фазовое состояние, повышая прочность. Например, термическая обработка титана улучшает его механические характеристики.

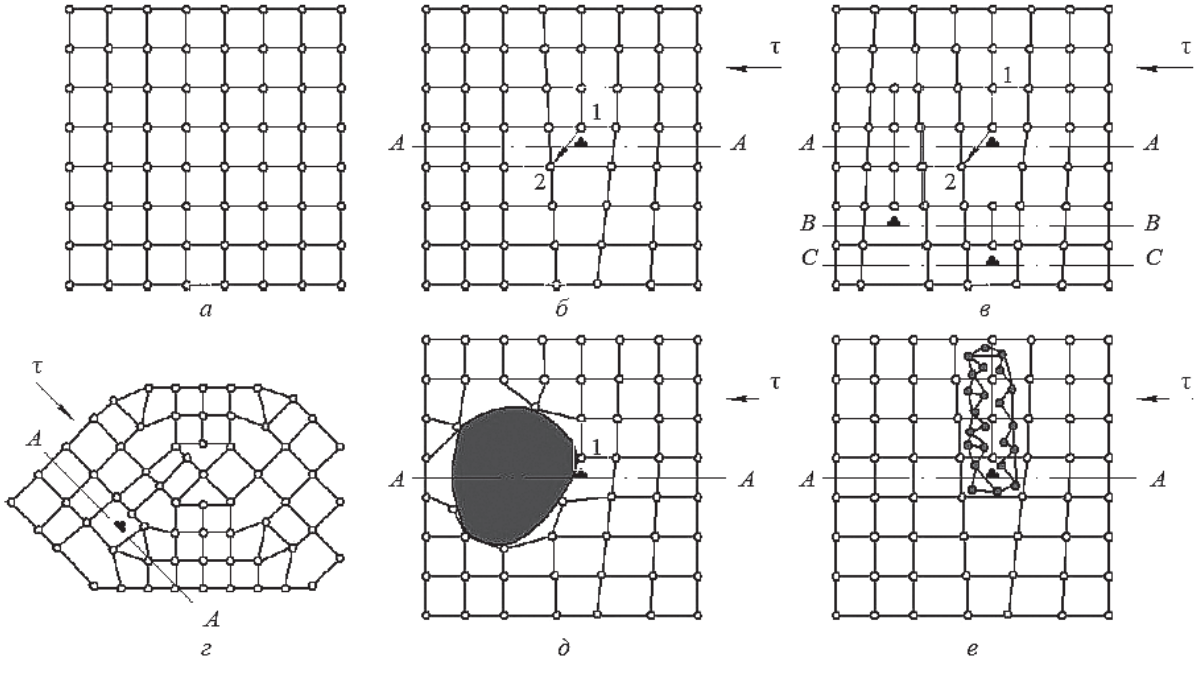


Рис. 3. Структуры кристаллических решеток металлов:
а – КР идеального кристалла; *б* – КР после отжига; *в* – КР после наклепа;
г – КР металла с мелкозернистой структурой; *д*, *е* – КР легированных металлов;
A–A, B–B, C–C – плоскости скольжения

Составлено по: [4].

В идеальных кристаллах, лишённых дефектов, прочность определяется только межатомными связями и может достигать теоретических значений. Например, нитевидные кристаллы («усы») имеют прочность, близкую к теоретической: для железа – 13 000 МПа, для меди – 30 000 МПа.

Кристаллическая структура оказывает решающее влияние на прочность материалов. Дефекты, такие как дислокации, значительно снижают прочность, но их контроль и управление позволяют создавать материалы с улучшенными механическими свойствами. В настоящее время исследования направлены на создание кристаллов, максимально приближенных к идеальным, что позволит достичь прочностных характеристик, превышающих для современных материалов.

Кристаллическая структура играет ключевую роль в прочности материалов. Дефекты, такие как дислокации, снижают прочность, но их контроль позволяет разрабатывать материалы, с заданными характеристиками. Перспективные исследования направлены на создание кристаллов с минимальными дефектами для достижения максимальной прочности. Современные методы обработки и упрочнения материалов позволяют значительно повысить их эксплуатационные характеристики.

Библиографические ссылки

1. *Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П.* Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990.

2. *Арзамасов Б. Н., Макарова В. И., Мухин Г. Г.* Материаловедение 7-е изд., стер. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.

3. *Кушнер В. С.* Материаловедение. Омск: Омский государственный технический университет, 2008.

4. *Омелюсик А. В.* Теория идеальных кристаллов. [Электронный ресурс] // Труды БГТУ. 2014. № 2. С.188-190. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-idealnyh-kristallov/viewer (дата обращения: 18.02.2025).

5. *Дидык Р. П., Кузнецов Е. В., Забара В. Н.* Физические основы прочности. Киев: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.

6. *Герасимова Н. С.* Кристаллические решетки и их дефекты. // Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана

КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ЦИРКОНИЙ

В. И. Красовский[1] **А. А. Филичкина**[1] **Н. Ю. Мидянка**[1]

[1] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, vikras@iseu.by.*

Цирконий является ключевым конструкционным материалом в ядерной энергетике благодаря уникальному сочетанию свойств, таких как низкое сечение захвата нейтронов, высокая коррозионная стойкость и радиационная стабильность. В документе рассматриваются физико-химические характеристики циркония, его кристаллические структуры, а также основные методы легирования для повышения эксплуатационных свойств. Особое внимание уделено применению циркониевых сплавов в активных зонах реакторов на тепловых нейтронах, включая оболочки ТВЭЛов и конструкционные элементы реакторов.

Ключевые слова: цирконий; ядерная энергетика; конструкционные материалы; сплавы; ТВЭЛ; коррозионная стойкость; радиационная стойкость.

CONSTRUCTION MATERIAL ZIRCONIUM

V. I. Krasovsky[1] **A. A. Filichkina**[1] **N. Y. Midyanka**[1]

[1] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, 23/1 Dolgobrodskaya str., 220070, Minsk, Belarus, vikras@iseu.by.*

Zirconium is a key structural material in nuclear power engineering due to its unique combination of properties such as low neutron capture cross section, high corrosion resistance and radiation stability. The paper reviews the physical and chemical characteristics of zirconium, its crystal structures, and the main alloying techniques to enhance its performance properties. Special attention is paid to the use of zirconium alloys in the cores of thermal neutron reactors, including fuel element cladding and reactor structural elements.

Keywords: zirconium; nuclear power engineering; structural materials; alloys; fuel elements; corrosion resistance; radiation resistance.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-127-130

Ядерная энергетика занимает важное место в обеспечении глобальных энергетических потребностей. Одним из ключевых факторов надёжности и безопасности атомных электростанций (АЭС) является выбор и использование конструкционных материалов, которые должны соответствовать экстремальным условиям (высокие температуры, радиационное воздействие, агрессивные химические среды и т.д.).

Конструкционные материалы, применяемые в ядерной энергетике, должны соответствовать ряду требований.

– Радиационная стойкость: способность сохранять механические и физико-химические свойства под воздействием ионизирующего излучения.

– Теплостойкость: устойчивость к высоким температурам в активной зоне реактора.

– Коррозионная стойкость: защита от агрессивных сред, таких как охлаждающие жидкости (вода, натрий, свинец).

– Механическая прочность: работа в экстремальных условиях.

– Минимальное сечение захвата нейтронов: снижение поглощения нейтронов для повышения эффективности реакции деления.

Большинству из этих требований в условиях эксплуатации соответствует цирконий (Zr).

Составлено по: [1].

Цирконий является химическим элементом IV группы периодической системы с атомным номером 40. Открыт этот элемент в 1789 г. немецким химиком М. Клапротом при анализе драгоценного камня циркона, привезенного с Цейлона. Клапрот получил новый элемент в виде «земли» – оксида ZrO2. Металлический цирконий с большим количеством примесей впервые получен в 1824 г. И. Берцелиусом, а чистый – лишь через 90 лет. Чистый цирконий это блестящий, похожий на сталь металл, пластичный и тугоплавкий. Цирконий – металл химически стойкий. На него не действует вода, на воздухе он покрывается защитной пленкой ZrO2, предохраняющей его от дальнейшей коррозии. Он не растворяется в щелочах, в соляной и азотной кислотах. При повышенных температурах цирконий взаимодействует с галогенами, проявляя, как правило, степень окисления – 4.

Хотя цирконий не редок, крупных залежей циркониевых минералов нет, он рассеян. Главные его минералы циркон Zr[SiO4] и бадделеит ZrO2. Прозрачные, желто-красного цвета кристаллы циркона называются гиацинтами.

Отметим лишь то, что цирконий обладает низким сечением захвата тепловых нейтронов и по совокупности свойств считается «реакторным материалом № 1 атомного века». В естественной смеси Zr состоит из пяти изотопов с массовыми числами 90 (51,46 %), 91 (11,23 %), 92 (17,11 %), 94 (17,4 %) и 96 (2,8 %). Основной вклад в величину сечения захвата о, вносит изотоп с массовым числом 91 (σ, = 1,58*10^{-28} м^2). Однако очистка от него чрезвычайно дорогая технология.

Необходимо иметь в виду, что в природе спутником циркония является гафний (Hf), содержание которого в руде достигает 1-3 %. Гафний имеет сечение захвата тепловых нейтронов в 500 раз выше, чем цирконий, и без очистки от Hf цирконий невозможно использовать в активной зоне реакторов на тепловых нейтронах. Вследствие этого в производстве циркония основной проблемой является выделение гафния и снижение его содержания в цирконии до 0,010-0,015 %.

Источник: [2].

Сплавы циркония находят применение в изготовлении конструктивных элементов активных зон реакторов на тепловых нейтронах различного назначения. Работоспособность циркониевых изделий определяется оптимальным сочетанием коррозионной стойкости, сопротивления радиационной ползучести и радиационному росту, приемлемого уровня пластичности, трещиностойкости и технологичности.

Использование циркониевых сплавов в качестве конструкционного материала активной зоны реакторов на тепловых нейтронах (оболочки ТВЭЛов, чехлы тепловыделяющих сборок, канальные трубы) и эффективного высокотемпературного топлива UO2 обеспечили конкурентоспособность АЭС с теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).Он обладает уникальными физико-химическими характеристиками, делающими его незаменимым материалом для ядерной энергетики:

– Атомная масса: 91,22 а.е.м.
– Температура плавления: 1855 °C (выше температуры плавления стали)
– Температура кипения: 4409 °C
– Плотность: 6,52 г/см³ (лёгкий материал)
– Распространен в земной коре (1,7*10^{-2} %)
– Коррозионная стойкость: устойчив к воздействию воды и пара при высоких температурах.
– Радиационная стойкость: сохраняет механические свойства при длительном воздействии ионизирующего излучения.
– Малое сечение захвата нейтронов: всего 0,18 барн, что делает цирконий идеальным материалом для оболочек тепловыделяющих элементов (твэлов).

Кристаллическая структура циркония:

Цирконий кристаллизуется в двух формах в зависимости от температуры:

– Zr_α (α-цирконий): при температурах ниже 862 °C имеет гексагонально-плотноупакованную (ГПУ) структуру с параметрами решётки a = 3,23 Å и c = 5,15 Å;

– Zr_{β} (β-цирконий): при температурах выше 862 °С принимает кубическую объёмно-центрированную (ОЦК) структуру, которая способствует увеличению пластичности и облегчает формовку материала при высоких температурах.

Применение циркония в ядерной энергетике:

1. Оболочки тепловыделяющих элементов (твэлов):

– Циркониевые сплавы, такие как Zr-2 и Zr-4, широко применяются для изготовления оболочек твэлов, защищающих ядерное топливо.

– Благодаря низкому сечению захвата нейтронов цирконий в конструкциях минимизирует потери нейтронов и увеличивает эффективность ядерной реакции.

2. Внутренние компоненты реактора:

– Цирконий используется в опорных и направляющих конструкциях активной зоны реактора, выдерживая высокие температуры и радиацию.

3. Трубопроводы и теплообменники:

– Из-за высокой коррозионной стойкости цирконий подходит для элементов, контактирующих с охлаждающими жидкостями.

4. Перспективные разработки:

– Современные исследования сосредоточены на разработке циркониевых сплавов с улучшенной коррозионной стойкостью и радиационной стабильностью, что позволяет использовать их в реакторах IV поколения.

Важнейшие требования к легированию при создании конструкционного материала на основе Zr для активной зоны реакторов на тепловых нейтронах заключаются в том, что легирующий элемент должен:

– иметь небольшое сечение захвата тепловых нейтронов, чтобы не обесценить основное положительное качество циркония – малое сечение захвата нейтронов;

– обеспечивать коррозионную стойкость в теплоносителе оболочек ТВЭЛов, канальных труб и других деталей активной зоны на весь срок эксплуатации;

– обеспечивать механическую надежность ТВЭЛов и каналов при всех возможных режимах работы реактора, включая скачки мощности и аварийные ситуации;

– обеспечивать высокую радиационную стойкость сплава в рабочих условиях реактора;

– не образовывать относительно долгоживущих радиоактивных нуклидов с жестким γ-излучением, как, например, 60Co, поскольку это удорожает разгрузку реактора, хранение, транспортировку и переработку отработавших ТВЭЛов;

– заметно не ухудшать технологические свойства циркония; быть относительно недорогим и доступным.

Циркониевые сплавы (например Zr – Nb)

Ниобий, как легирующий элемент в цирконии, обладает следующими положительными свойствами:

– сечение захвата тепловых нейтронов небольшое ($1{,}1 \cdot 10^{-28}$ м^2), Nb может быть добавлен в количестве нескольких процентов без существенного повышения стабилизирует коррозионную стойкость нелегированного циркония, т.е. устраняет вредное влияние малых количеств таких примесей, как углерод, алюминий, титан, имеющихся в реакторно-чистом цирконии;

– эффективно снижает долю водорода, поглощаемую циркониевым сплавом;

– образует с β-фазой циркония ряд твердых растворов, что объясняется одинаковыми кристаллическими структурами и очень близкими атомными радиусами; в α-фазе ниобий растворяется при монотектоидной температуре в количестве до (1-1,1) % (по другим данным – до 1,5 %).

Используются для изготовления оболочек твэлов (тепловыделяющих элементов).

Преимущества: низкое сечение захвата нейтронов, высокая коррозионная стойкость.

Источник: [3].

Дальнейшее развитие теории сплавов на основе циркония предполагается в следующих направлениях:

– Композитные материалы: увеличение срока службы и стойкости к радиации.

– Модифицированные циркониевые сплавы: повышение коррозионной устойчивости и снижение вероятности повреждений твэлов.

– Наноструктурированные материалы: повышение прочности и радиационной стойкости.

– Использование новых покрытий: защита поверхностей от коррозии и радиационного разрушения.

Библиографические ссылки

1. *Ма Б. М.* Материалы ядерных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1985.

2. *Крицман В. А., Станцо В. В.* Энциклопедический словарь юного химика. М.: Педагогика, 1982.

3. *Чернов И. И.* [и др]. Конструкционные и функциональные материалы ядерных энергетических установок. Минск: Вышэйшая школа, 2021.

ВЛИЯНИЕ ЭЛИСИТОРА ИЗ ТРУТОВИКА ЛАКИРОВАННОГО (GANODERMA LUCIDUM (CURT.)) НА РИЗОГЕНЕЗ ПЕРЦА ОВОЩНОГО (CAPSICUM ANNUUM L.)

Е. А Крюков[1)], **В. С. Заяц**[1)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, 33, г. Минск, Беларусь*
e.kryukov@unitsky.com

Изучено влияние биогенного элиситора, полученного из Трутовика лакированного на рост и развитие корневой системы перца овощного. Анализировались четыре параметра корневой системы: частота ветвления на миллиметр, общая длина корней, медианный диаметр и площадь корневой системы. Полученные результаты могут применяться в агротехнологиях при разработке новых препаратов, нацеленных на стимулирование роста и развития корневой системы растений.

Ключевые слова: перец овощной (*Capsicum annuum* L.); стимуляторы роста; ризогенез; трутовик лакированный (*Ganoderma lucidum* (Curt.)); адаптация растений; элиситор.

INFLUENCE OF ELICITOR FROM REISHI MUSHROOM (GANODERMA LUCIDUM (CURT.)) ON RHIZOGENESIS OF PEPPER (CAPSICUM ANNUUM L.)

Y. A. Krukau[1)], **V. S. Zayats**[1)]

[1)] *Unitsky String Technologies, Zheleznororozhnaya str, 33, Minsk. Belarus*
e.kryukov@unitsky.com

The effect of a biogenic elicitor obtained from the reishi mushroom on the growth and development of the pepper root system was studied. Four root system parameters were analysed: branching frequency per millimetre, total root length, median diameter and root system area. The results obtained can be applied in agrotechnology for the development of new preparations aimed at stimulating plant root growth and development.

Keywords: pepper (*Capsicum annuum* L.); growth stimulants; rhizogenesis; reishi mushroom (*Ganoderma lucidum* (Curt.)); plant adaptation; elicitor.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-131-135

В настоящее время одним из перспективных направлений в сельском хозяйстве является рациональное использование биологически активных веществ или стимуляторов роста растений, получаемых из природного сырья. В настоящей работе исследования проводились на перце овощном (*Capsicum annuum* L.) как одной из ценных сельскохозяйственных культур, используемых человеком. *Capsicum annuum* L. относится к семейству Пасленовых (*Solanaceae*) и представляет собой однолетнее растение, достигающее высоты от 0,5 до 2 метров. Эта культура является одной из наиболее распространённых овощных культур в мире благодаря своим многочисленным преимуществам, включая высокую урожайность, хорошо изученные агротехнологии возделывания и отличные вкусовые качества [1]. Исследовалось действие разработанного стимулятора роста на корневую систему растений. Основные эффекты подкормок должны проявляться на первых стадиях онтогенеза растений, начиная с прорастания семян. Эффекты на ранних стадиях роста растений оказываются на росте корневой системы, что дает сигнал о ценности и качестве будущего урожая. Поэтому исследование корневой системы является актуальным направлением. Корни выполняют несколь-

ко ключевых функций: обеспечивают поглощение воды и минеральных веществ из почвы, способствуют устойчивости растений в почвенном субстрате, а также участвуют в синтезе определённых фитогормонов. После прорастания корень начинает синтезировать цитокинины и гиббереллины, которые транспортируются в побег, способствуя развитию апикальных меристем стебля и росту листьев. Развитая корневая система прямо влияет на образование и развитие побегов, что способствует накоплению значительной вегетативной массы и положительно сказывается на урожайности культуры.

Различные стрессовые факторы включая условия экстремальных температур, недостаток влаги, воздействии вредных веществ и заболеваний, засолённость почв являются одними из наиболее ограничивающих факторов для производства сельскохозяйственных культур. Это ведёт к снижению роста и продуктивности растений, влияя на физиологические процессы, включая нарушение ионного равновесия, водного статуса, минерального питания, поведения устьиц и эффективности фотосинтеза. Для минимизации неблагоприятных стрессовых воздействий применяются различные подкормки и стимуляторы роста. В данном исследовании предлагается использование биогенного элиситора, полученного из трутовика лакированного – гриба, содержащего множество видов биологически активных компонентов и давно используемого в лекарственных целях. Применение препаратов на основе элиситоров имеет свои преимущества: они не вызывают резистентности патогенов растений, экологически безвредны, не аккумулируются в растениях, экономически выгодны за счёт активности в низких дозах и соответственно низкого расхода действующего вещества. К биогенным элиситорам относятся вещества, полученные из грибов, микроорганизмов, растений, которые вызывают элиситор-индуцируемые реакции у растений. Грибные метаболиты узнаются в растениях рецепторными сайтами трансмембранных молекул (PRRs) после чего, через серию фосфорилирований белков протеинкиназами, вызывают активизацию фактора регуляции транскрипции и индукцию трансляции генов иммунного ответа (посредством запуска каскада защитных механизмов), что позволяет более полно реализовывать защитный генетический потенциал растения.

Молекулярный механизм действия элиситоров запускает сходные процессы в клетках растения. Трансмембранные рецепторы PRRs состоят из лейцин-богатого домена, участвующего в связывании патоген-ассоциированных молекулярных паттернов [2]. У растений известно два типа PRRs: рецептор подобные белки (RLPs) и рецептор подобные киназы. Стоит отметить, что цитоплазматический домен имеют только RLPs. Дальнейшая трансдукция сигнала происходит главным образом киназными каскадами. Далее происходит изменение ионных потоков, активация транскрипционных факторов семейства WRKY, активация PR-генов. В результате чего происходит повышение устойчивости к стрессорам, индукция роста и развития растения. При стимуляции растений грибными и бактериальными элиситорами, растения обычно изменяют такие факторы как отложение каллозы, синтез ферментов, укрепление клеточной стенки растения, которое прямо может быть связано с фенилпропаноидными соединениями, и накопление белков, связанных с патогенезом, для защиты от вредителей и болезней , т. е. в растительном организме возникает индуцированная системная устойчивость к факторам ISR-типа. [3].

Отдельно стоить отметить полисахариды, содержащиеся в трутовике лакированном. Согласно последним исследованиям [4] данные соединения способствуют улучшению всхожести семян растений и увеличивают экспрессию генов, связанных с устойчивостью к заболеваниям.

В статье рассматривается влияние элиситора из гриба *Ganoderma lucidum* на ризогенез перца овощного, выращенного на жидкой питательной среде.

Объектом исследования выступали 45 дневные корни растений перца овощного (*Capsicum annuum* L.) сорта Фитилёк. Семян проращивались отдельно в чашках Петри и развивались до

размера 2-3 см, чтобы исключить влияние элиситоров. После чего проросшие семена отбирали и переносили в отдельные ёмкости с жидкой питательной средой по 1 растению в каждом. Жидкая питательная среда была представлена раствором Эллиса со стандартным микро- и макроминеральным составом.

В эксперименте использовали 2 различные концентрации элиситора: 5×10^{-2} мл/л и 1×10^{-3} мл/л, которые вносили в питательный раствор раз в 10 дней, исключая контрольный вариант.

Для оценки влияния действующего вещества на биометрические показатели корневой системы перца овощного регистрировались следующие показатели:

– частота ветвления на миллиметр
– общая длина корней
– медианный диаметр
– площадь корневой системы

Ёмкости для культивирования переносились в камеру выращивания с 16-часовым фотопериодом и температурой +25 °С. Измерения параметров проводились на 45 день с помощью сканирования корневой системы и последующего анализа полученных изображений с использованием программного обеспечения RhizoVision [5].

Были обнаружены значительные различия между контрольными вариантами и с применением элиситора. Расчётные значения биометрических параметров корневой системы демонстрируют значительные улучшения по сравнению с контрольной группой (таблица).

Таблица

Исследуемые показатели корневой системы перца овощного, выращенного под воздействием элиситора

Растение № / Параметр	Общая Длина, (мм)	Частота ветвления	Медианный диаметр, (мм)	Общая площадь, ($мм^2$)
Контроль				
1	8089,83	1,09	0,54	16375,92
2	7737,23	1,07	0,54	15470,92
3	8642,43	1,08	0,53	17125,53
среднее	8156,50	1,08	0,54	16324,12
5×10^{-2} мл/л				
1	10562,14	1,30	0,56	24353,20
2	10123,52	1,27	0,55	23244,67
3	11200,76	1,32	0,57	25715,26
среднее	10628,81	1,30	0,56	24437,71
1×10^{-3} мл/л				
1	9044,51	0,96	0,54	19307,30
2	8752,36	0,94	0,56	18781,52
3	9152,51	0,98	0,55	19624,56
среднее	8983,13	0,96	0,55	19237,79

Исходя из данных таблицы, показатель частоты ветвления, который отражает плотность боковых ответвлений на единицу длины осевого корня продемонстрировал улучшение. Величина данного показателя является индикатором плотности корневой системы в субстрате, в котором развивается растение. Наибольший стимулирующий эффект наблюдался при использовании более высокой концентрации элиситора, составив 1,30 единицы, в то время как

контрольная группа показала значение 1,08. Вариант с меньшей концентрацией элиситора близок к контрольному и составил 0,96 единиц.

Отдельно стоить отметить показатель медианного диаметра корневой системы, который отражает распределение диаметров корней одного растение и показывает, что половина исследуемых корней имеет диаметр ниже данного значения, а другая половина – выше. Близкие значения этого параметра для всех исследуемых вариантов указывают на то, что большая часть корневой системы уже сформирована. Это позволяет предположить, что основное стимулирующие действие на развитие корневой системы с использованием элиситоров происходит преимущественно на ранних этапах роста растения.

Анализ площади корневой системы выявил наивысшие результаты для концентрации элиситора 5×10^{-2} мл/л, составив 24437,71 мм^2, что в 1,5 раза превышает контрольный показатель. Вариант с использованием элиситора в концентрации 1×10-3 мл/л также показал высокий результат, достигнув 19237,79 мм^2, что в 1,2 раза больше контрольного значения.

На рисунке представлены фото корневой системы, обработанное в приложении RhizoVision.

а *б* *в*

Изображение корневых систем исследуемых растений перца овощного
в итоговой обработке перед анализом в программном решении RhizoVision:
а – контроль; *б* – 5×10^{-2} мл/л; *в* – 1×10^{-3} мл/л

Использование элиситора способствует увеличению общей длины корневой системы, что непосредственно влияет на площадь, занимаемую растением в почве, улучшает возможности для накопления питательных веществ и стабильного развития всего растения. Вариант с применением элиситора в концентрации 5×10^{-2} мл/л показал увеличение длины корней в 1,3 раза по сравнению с контролем, тогда как вариант с концентрацией 1×10^{-3} мл/л продемонстрировал прирост в 1,1 раз.

На протяжении всего онтогенеза растения подвергаются влиянию различных биотических и абиотических факторов, негативно влияющих на их рост и развитие. Применение разработанного элиситора из гриба *Ganoderma lucidum* может способствовать нивелированию воздействия стресс-факторов и ускорению адаптации растений путем стимуляции ризогенеза. В результате данного эксперимента было показано, что элиситор-индуцированные защитные реакции, включающие в себя восприятие элиситора рецептором на поверхности клетки с последующей его трансдукцией с участием некоторых основных клеточных и молекулярных событий, имеют стимулирующий эффект на показатели общей длины, площади, частоты ветвления и медианного диаметра корневой системы.

Наибольшая стимуляция ризогенеза была зафиксирована для варианта с применением элиситора в концентрации 5×10^{-2} мл/л. При оценке параметра медианного диаметра были сделаны выводы, что наибольшая стимуляция ризогенеза происходит на ранних стадиях развития растений перца овощного.

Экстраполяция полученных данных позволяет предположить, что такая стимуляция приведёт к устойчивому развитию растений, улучшенной эксплорации субстрата и повышенной усвояемости питательных элементов корневой системой. Данные факторы могут способствовать более раннему началу цветения, ускоренному созреванию плодов и увеличению общей урожайности. Применение элиситоров *Ganoderma lucidum* не только улучшает показатели корневой системы, но и позитивно сказывается на дальнейших этапах роста и развития растений, что имеет важное значение для агрономической практики.

Библиографические ссылки

1. *Полевой, В. В.* Физиология растений: учеб. для биол. спец. вузов / 3. В. В. Полевой. М.: Высш. шк., 1989. 464 с. (печатное издание, 1 автор)

2. Host-microbe interactions: shaping the evolution of the plant immune response / Chisholm ST. [et al] // Cell Feb. 2006 Vol. 124, iss. 4. P.803-814 (статья в печатном журнале, более 3 авторов)

3. *Thakur M., Sohal B. S.* Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review //International Scholarly Research Notices. 2013. Т. 2013. №. 1. С. 762412. (статья в печатном журнале, 2 автора)

4. A polysaccharide of ganoderma lucidum enhances antifungal activity of chemical fungicides against soil-borne diseases of wheat and maize by induced resistance / Yang X. [et al] //Agriculture Jan. 2022 Vol 12, iss.1. P. 55 (статья в электронном журнале, 7 авторов)

5. RhizoVision Explorer: open-source software for root image analysis and measurement standardization / Seethepalli A. [et al] // AoB plants Dec. 2021 Vol. 13, iss. 6. P. 1–15 (статья в печатном журнале, 6 авторов)

К ВОПРОСУ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Л. В. Кулагина[1)], **И. Д. Зыкова**[1)], **Н. Р. Кубик**[1)]

[1)] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», пр. Свободный, 79, 660041, г. Красноярск, Россия, klvation@gmail.com*

Утилизация разливов нефтепродуктов на водном объекте представляет собой сложный и многоступенчатый процесс, требующий не только высококвалифицированного подхода, но и строгого соблюдения действующих экологических норм и стандартов. В силу своей природы нефтепродукты обладают высокой токсичностью и способны наносить значительный ущерб экосистемам водоемов и угрожают здоровью человека, что делает предотвращение разливов и их эффективную утилизацию важными задачами для экологической безопасности. В статье предлагается подход утилизации разливов, основанный на использовании эффектов кавитации.

Ключевые слова: аварийные разливы нефти; ЧС на водном объекте; кавитационная обработка; нефтяная эмульсия.

ON ISSUE OF ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF OIL PRODUCTS SPILLS ON WATER BODIES

L. V. Kulagina[1)], **I. D. Zykova**[1)], **N. R. Kubik**[1)]

[1)] *Siberian Federal University, Svodny pr., 79, 660041, Krasnoyarsk, Russia, klvation@gmail.com*

Disposal of oil spills on a water body is a complex and multi-stage process that requires not only a highly qualified approach but also strict compliance with current environmental regulations and standards. Due to their nature, oil products are highly toxic and can cause significant damage to ecosystems of water bodies and pose a threat to human health, which makes spill prevention and effective disposal important tasks for environmental safety. The article proposes an approach to spill disposal based on the use of cavitation effects.

Keywords: oil spills; water body emergencies; cavitation treatment; oil emulsion.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-136-138

Разливы нефтепродуктов наносят непоправимый вред морской флоре и фауне, приводя к ухудшению состояния биоразнообразия и разрушению природных местообитаний, они имеют долгосрочные последствия для рыболовства и других видов экономической деятельности, зависящих от чистоты водоемов.

К упомянутым катастрофам относятся – авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon в 2010 году, прорыв дамбы «Алроса» в Якутии в 2018 году, разлив мазута в Керченском проливе в 2024 году и т.д., эти катастрофы обострили вопросы о необходимости более строгого контроля за нефтяной отраслью и разработкой эффективных мер по локализации и ликвидации подобных происшествий, последствия которых представлены на рисунке 1.

Рис. 1. Ликвидация загрязнений на побережье Черного моря

Традиционные методы очистки, такие как механический сбор нефти, использование сорбентов и химических диспергентов, зачастую оказываются недостаточно эффективными. Они требуют значительных временных и финансовых затрат, а также могут вызывать дополнительные экологические риски. В связи с этим актуальным становится поиск инновационных технологий, способных обеспечить высокую степень очистки при минимальном воздействии на окружающую среду [1].

Несмотря на существование множества методов очистки нефтезагрязнений, большинство из них имеют существенные ограничения, такие как низкая эффективность в условиях открытого моря, высокая стоимость и негативное влияние на экосистемы. Это создает необходимость разработки новых подходов, которые могли бы преодолеть эти недостатки [1]. Например, изучение влияния эффектов кавитации на водо-нефтяных эмульсии с целью снижения класса опасности и утилизации разливов.

В научной литературе на сегодняшний день имеется мало информации о влиянии воды на изменение свойств эмульсий «вода в нефти» в результате процесса кавитации.. Между тем, известно, что при кавитационной обработке нефти меняется ее фракционный состав – повышается выход светлых фракций.

Авторы [3] связывают усиление эффекта кавитационной обработки водо-нефтяных эмульсий в присутствии воды тем, что зародыши кавитационных пузырьков формируются на границе раздела фаз, в том числе и на границе фаз капель воды и нефти в водо-нефтяной эмульсии.

При увеличении содержания воды в эмульсии увеличивается поверхность раздела фаз за счет возрастания дисперсности воды и можно ожидать большего эффекта от обработки. Поэтому целью работы являлось исследование влияния кавитационной обработки водо-нефтяных эмульсий с разным соотношением нефть-вода на физико-химические характеристики образцов.

Рис. 2. Водо-нефтяная эмульсия 10, 20, 30, 40 об. %

Объектами данного исследования были выбраны водо-нефтяные эмульсии, приготовленные добавлением к исходной нефти воды в количестве 10, 20, 30 и 40 об. %, представленные на рисунке 2, далее образцы были подвергнуты кавитационной обработке, результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние содержания воды в эмульсии на физико-химические характеристики образцов

Образец	Содержание воды, % об.	$T_{кип}$, °С	Выход фракции, % масс.					
			до 100°С	100-140°С	140-180°С	180-220°С	220-350°С	Кол-во светлых фракций, %
1	10	132	–	–	7	6	20	33
2	20	89	2	9	10	11	31	65
3	30	91	3	7	6	9	27	52
4	40	86	2	8	8	8	27	53

Отмечено, что температура кипения и фракционный выход уменьшаются с увеличением содержания воды в образце после процесса кавитации, происходящих до значения 350 °С. Наибольший выход этих фракций, фиксировался при содержании воды 20 % об. Выход светлых фракций в этом случае составил 65 %.

При добавлении к нефти 30 и 40 об. % воды выход светлых фракций снизился на 20 %, что свидетельствует об отсутствии необходимости добавления воды в таком количестве для достижения деструктивных превращений тяжелых компонентов нефти в более легкие дистиллятные фракции.

Отсутствие углеводородов, с температурами кипения до 140 °С в образце 1 связано, очевидно, с их отсутствием в образце исходной нефти. Появление подобных углеводородов в образцах 2-4 подтверждает возможность крекинга за счет кавитационной обработки, т.е. разрывом химических связей высокомолекулярных соединений, содержащихся во фракциях, кипящих при более высокой температуре.

Таким образом, было подтверждено предположение об эффективности кавитационной обработки водо-нефтяных эмульсий для увеличения выхода светлых фракций. Наибольший выход этих фракций фиксировался при содержании воды в эмульсии 20 % об. Предложенный подход может служить основой дальнейших исследований с целью экологизации процесса ликвидации аварийных разливов нефти.

Библиографические ссылки

1. Обращение с отходами нефтепродуктов / Т. А. Кулагина, Е. Н. Зайцева [и др]. Москва: «Русайнс», 2024. EDN: ZLDUIF.

2. *Кулагина Л. В., Зайцева Е. Н.* Прогнозирование гидрологического режима с использованием сети LSTM на примере реки Енисей // Российский журнал прикладной экологии. 2024. № 4 (40). С 18-22. EDN: QBRVXC, https://doi.org/ 10.24852/2411-7374.2024.4.18.22.

3. *А. И. Николаев, Б. В. Пешнев, М. Х. И. Алхамеди* Кавитационная обработка обводненых нефтепродуктов // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 65(7), 94-99. https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226507.6611.

УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Т. А. Кулагина[1)], **И. В. Кириллова**[1)], **Р. В. Гурина**[1)]

[1)] *Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, 660041, г. Красноярск, Россия, office@sfu-kras.ru*

Превращение отходов лесоперерабатывающей промышленности в топливные брикеты представляет собой перспективное направление. Эти брикеты отличаются удобством использования, высокой теплотворной способностью и устойчивостью к транспортировке. В состав топливного брикета могут быть включены не только отходы лесоперерабатывающей промышленности, но и другие виды энергетических отходов, такие как отходы птицефабрик, свинокомплексов, переработки злаковых культур и т.д. Однако возможность применения отходов кроличьих ферм в составе композиционного топлива пока недостаточно исследована. Следует отметить, что биологические отходы кроликов представляют собой легкий, органосодержащий материал с достаточно нейтральной средой. В данной статье авторами была исследована возможность получения комбинированного топлива из отходов лесопиления и кроличьих ферм.

Ключевые слова: топливные брикеты; биотопливо; сельскохозяйственные отходы; отходы лесопереработки; теплотворная способность.

REDUCING THE AMOUNT OF ORGAN-CONTAINING WASTE BY CHANGING THE COMPOSITION OF FUEL BRIQUETTES

T. A. Kulagina[1)], **I. V. Kirillova**[1)], **R. V. Gurina**[1)]

[1)] *Siberian Federal University, 79 Svobodny Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, office@sfu-kras.ru*

The conversion of waste from the timber processing industry into fuel briquettes is a promising field. These briquettes are characterized by ease of use, high calorific value, and resistance to transportation. The composition of the fuel briquette can include not only waste from the timber processing industry but also other types of energy waste, such as waste from poultry farms, pig farms, processing of cereals, etc. However, the possibility of using rabbit farm waste as a composite fuel has not yet been sufficiently studied. It should be noted that biological waste from rabbits is a light, organ-containing material with a fairly neutral environment. In this article, the authors investigated the possibility of obtaining combined fuels from sawmill waste and rabbit farms.

Keywords: fuel briquettes; biofuels; agricultural waste; wood processing waste; calorific value.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-139-142

Топливные брикеты обладают рядом преимуществ, таких как экологичность, высокая теплотворная способность, сопоставимая с дровами и древесным углем цена для использования в агропромышленных комплексах, удобство в использовании и относительно меньшие требования к пространству для хранения, а также постоянная высокая температура при сгорании на протяжении всего процесса горения. Производство композиционных топлив, таких как древесные пеллеты и брикеты, в мире за последние 25 лет достигло более 30 миллионов тонн в год. Брикеты характеризуются высокой объемной плотностью энергии.

Несанкционированное размещение отходов лесного хозяйства и животноводства на полигонах коммунальных и промышленных отходов приводит к значительному увеличению экологической и санитарно-эпидемиологической опасности в прилегающих зонах. Это связано с неконтролируемыми процессами аэробного и анаэробного разложения органических веществ, сопровождающимися выделением токсичных соединений и парниковых газов.

Предприятия животноводства, из-за больших объемов отходов и несвоевременного их сбора и вывоза на утилизацию, могут стать серьезной угрозой для окружающей среды и экологической безопасности. Однако отходы, получаемые в результате деятельности кроличьих ферм, обладают значительным энергетическим потенциалом, что делает их перспективными для использования в качестве топлива [1].

В Сибирском федеральном университете (Россия, г. Красноярск) проведены ряд исследований в направлении разработки рецептуры топливного брикета из опилок хвойных пород древесины и органических отходов кроличьих ферм без применения искусственных связующих веществ.

Кроличий навоз в лаборатории измельчали и высушивали, согласно ГОСТ Р 54192-2010 [2] в три этапа до постоянной массы. Полученную мелкодисперсную массу соединяли с древесными опилками, предварительно высушенными на предприятии по производству топливный пиллет и брикетов в барабане роторного типа при температуре 400°С до влажности 12 %. Далее подготовленные материалы поступали в пресс, где под высоким давлением экструзионным методом происходит таким образом формирование брикета. По полученным результатам вариантов соединения компонентов (исследования прочностных характеристик, насыпной плотности, влажности) пришли к выводу об оптимальном соотношении отходов лесопиления и кроличьего помета 80 и 20 % соответственно [3; 4]. В проведенных исследованиях для выполнения сравнительного анализа были использованы брикеты, произведенные опытно-промышленным способом двух видов: первый – исключительно на основе опилок хвойных пород древесины и второй – с содержанием органических отходов кроликов (рис 1).

Рис. 1. Полученные топливные брикеты:
1 – брикеты на основе опилок; 2 – брикеты на основе опилок и отходов животноводства

Качественные характеристики брикетов из биомассы зависят от состава исходного сырья, содержания в нем влаги, технологии брикетирования и насыпной плотности готового продукта.

Содержание влаги определялось по ГОСТ Р 54192-2010 [2]. Расчет влажности по формулам методики показал, что для образцов комбинированной смеси, используемой в процессе брикетирования, она составила 2,85 %.

Насыпная плотность опытного брикета рассчитывалась с использованием ГОСТ 32987-2014 [5] и составила 413 кг/м^3.

Важной характеристикой брикетов, используемых для сжигания в печах, является их прочность, которая определяется устойчивостью к сжатию, ударным нагрузкам и воздействию влаги при транспортировке и хранении. Для определения прочности композиционных брикетов были проведены испытания на универсальной испытательной машине РГМ-600-А-1 (рис. 2). Где использовали цилиндры диаметром и высотой 5 мм, которые подвергались сжатию на гидравлическом прессе до разрушения. Разрушающая нагрузка (усилие пресса), деленная на площадь образца, характеризует прочность на сжатие образца в МПа или в кг/см^2. По проведенным исследованиям прочность брикета образца 1 составила 15,2 МПа, образца 2 – 17,15 МПа.

Рис. 2. Проведение эксперимента на универсальной испытательной машине РГМ-600-А-1

Для оценки энергетической ценности брикетов из биомассы, определяющей их теплотворной способностью, были проведены эксперименты в специализированной лаборатории с использованием калориметрического метода [6; 7]. Образцы подвергались высокотемпературному воздействию в калориметрической бомбе (рис. 3). Измеренная низшая теплота сгорания первого образцов из первой группы составила 4120 ккал/кг, образцов второй группы – 4400 ккал/кг, что свидетельствует о высокой энергетической эффективности предлагаемого опытного брикета.

Рис. 3. Калориметрическая бомба IKA C 6000

Определение элементного состава брикетов проводился с целью получения данных по содержанию углерода (C), водорода (H), кислорода (O), азота (N) и серы (S). Результаты анализа представлены в таблице.

Исследуемые брикеты как первой так и второй группы образцов имеют высокое содержание C и O, что указывает на их высокую энергетическую эффективность. Процентное содержание углерода в образцах второй группы составило 53,1 %, а кислорода – 45,65 %, что замет-

но выше, чем в образцах первой группы, состоящий исключительно из опилок. Содержание других элементов, таких как сера (S), азот (N) и водород (H), незначительно в обоих группах образцов и не оказывает существенного влияния на качество брикетов.

Результаты элементного исследования брикетов

Наименование и обозначение показателя	Ед. изм.	НД на метод испытания	Результаты испытаний образца 1 (топливный брикет из опилок)	Результаты испытаний образца 2 (топливный брикет из опилок с добавлением биомассы)
Содержание углерода, сухое беззольное состояние, C^{daf}	%	ГОСТ 32979-2014	50,1	**53,1**
Содержание водорода, сухое беззольное состояние, H^{daf}	%	ГОСТ 32979-2014	6,03	6,25
Содержание азота, сухое беззольное состояние, N^{daf}	%	ГОСТ 32979-2014	0,71	0,00
Содержание серы, сухое состояние, S^{d}	%	ГОСТ 32979-2014	0,00	0,00
Содержание серы, сухое беззольное состояние, S^{daf}	%	ГОСТ 32979-2014	0,00	0,00
Содержание кислорода, сухое беззольное состояние, O^{daf}	%	ГОСТ 27313-2015	40,16	**45,65**

Таким образом, анализируя полученные результаты исследования определен оптимальный состав топливного брикета, содержащего органические отходы кроличьих ферм. Проведены эксперименты по определению качественных, теплотворных и морфологических характеристик брикетов.

Библиографические ссылки

1. *Гурина Р. В., Кириллова И. В.* К вопросу о возможности использования органических отходов Красноярского края // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: В сборнике: Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. сборник статей XXXVI Международной научно-практической конференции. Пенза, 2024. С. 28-30.

2. ГОСТ Р 54192-2010. Биотопливо твердое. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 2. Общая влага. Ускоренный метод

3. *Кулагина Т. А., Кириллова И. В.* Усовершенствование состава топливных брикетов путем включения отходов кроличьих ферм // В сборнике: Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2022). Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. В 2-х томах. Уфа, 2022. С. 194-198.

4. *Кулагина Л. В., Кириллова И. В.* Повышение экологичности сжигания смесей в топках малого объёма за счёт включения органических компонентов //E3S Web of Conferences 295, 02002 (2021) WFSDI 2021 T. 295. C. 2021.

5. ГОСТ 32987-2014 Биотопливо твердое. Определение насыпной плотности.

6. ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010). Топливо твердое минеральное. Определение зольности (Издание с Изменением N 1) / ГОСТ Р от 28 октября 2013 г.

7. ГОСТ 147-2013 (ISO 1928-2009) Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания.5.

ОСАДКИ ОЗЕР КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Б. В. Курзо[1)], **О. М. Гайдукевич**[1)], **А. И. Сорокин**[1)]

[1)] *Государственное научное учреждений «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь, kurs2014@tut.by*

Рассмотрены особенности накопления и состав сапропелевых отложений в озерах и под торфом. Исследованы особенности концентрирования некоторых загрязняющих компонентов в современных слоях озерных отложений, для которых разработаны оценочные шкалы степени загрязнения и эвтрофирования озерных экосистем. Предложенные критерии основаны на анализе накопления в современных слоях озерных осадков тяжелых металлов, фосфора и руководящих биологических остатков по сравнению с фоновым слоем. Приведена степень загрязнения некоторых репрезентативных озер, которая устанавливались по биогеохимическим параметрам донных осадков. Изложенный подход может служить дополнением к локальному мониторингу состояния озерных экосистем в районах интенсивной хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: сапропель; фоновый горизонт; микроэлементы; радионуклиды; состав органического вещества; степень загрязнения.

LAKES SEDIMENTS AS INDICATORS OF STATE OF ENVIRONMENT

B. V. Kurzo[1)], **O. M. Gaidukevich**[1)], **A. I. Sorokin**[1)]

[1)] *State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus», F. Skoriny St., 10, 220076, Minsk, Belarus, kurs2014@tut.by*

The features of accumulation and composition of sapropel deposits in lakes and under peat are considered. The features of concentration of some polluting components in modern layers of lake sediments are investigated, for which assessment scales of the degree of pollution and eutrophication of lake ecosystems are developed. The proposed criteria are based on the analysis of accumulation of heavy metals, phosphorus and key biological residues in modern layers of lake sediments compared to the background layer. The degree of pollution of some representative lakes, which was established by biogeochemical parameters of bottom sediments, is given. The described approach can serve as a supplement to local monitoring of the state of lake ecosystems in areas of intensive economic activity.

Keywords: sapropel; background horizon; microelements; radionuclides; gross composition; organic matter composition; degree of pollution.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-143-147

При выполнении комплексных работ по оценке ресурсов и определении направлений использования сапропеля, которые выполнялась Академией наук Беларуси в 1975–95 гг. изучались валовые содержания и формы нахождения химических элементов в озерных отложениях для оценки возможности их практического использования в различных отраслях хозяйства [1–4]. Исследования актуальны в настоящее время в связи с работами по широкому вовлечению ресурсов сапропеля в сферу сельскохозяйственного и бальнеологического использования в качестве удобрений, кормовых добавок, лечебных грязей и другой продукции. Актуальны также исследования по радиометрическому контролю донных отложений в загрязненных районах Беларуси и разработка критериев антропогенной нагрузки на озера по накоплению в сапропеле отдельных химических элементов и остатков биоты.

Результаты исследований по геохимии сапропелевых отложений и изучение распределения содержания органического вещества, основных макро- и микроэлементов, биоло-

гических компонентов и радионуклидов в современных слоях осадков разнотипных озер продемонстрировало, что мощность поверхностного слоя, где прослеживаются заметные антропогенные нарушения состава отложений в замкнутых дистрофных, мезотрофных и слабоэвтрофных озерах, не превышает 0,15–0,20 м. В проточных эвтрофных озерах по причине повышенной биопродуктивности граница раздела проходит на глубине 0,3–0,4 м от поверхности осадков. Ниже указанных границ располагается экологически чистый (фоновый) горизонт современных осадков, который служит эталоном для оценки антропогенного воздействия на озерные системы.

На большом фактическом материале впервые для сапропеля Беларуси установлены средние концентрации микроэлементов в разновозрастных слоях, характеризующие его как относительно чистое природное образование (табл. 1) [5].

Таблица 1

Средние концентрации микроэлементов в сапропеле озер Беларуси, мг/кг сухого вещества

Педогеохимическая провинция	Количество		Ti	Mn	V	Cu	Cr	Ni	Co	Zr
	озер	проб								
Северная	426	1092	1363	493	33	18	29	17	7	126
Центральная	124	240	349	275	17	9	15	7	5	56
в т.ч. Западная подпровинция	81	170	352	323	19	8	16	7	5	64
Восточная подпровинция	43	70	299	100	16	10	13	7	5	56
Южная	53	100	300	294	15	9	14	6	6	46
Вся территория	**603**	**1432**	**1073**	**433**	**29**	**15**	**26**	**13**	**7**	**109**

Средние концентрации элементов в глубинных (фоновых) слоях являются достоверными критериями для сравнения и фиксации техногенного загрязнения современных осадков. В результате исследований поверхностных слоев сапропеля предложен метод контроля состояния озер по донным отложениям, позволяющий оценить и наглядно представить особенности процессов эвтрофирования и загрязнения тяжелыми металлами, другими поллютантами экосистем водоемов [6].

Седиментологический подход позволил проследить распределение загрязняющих и эвтрофирующих элементов в экосистемах репрезентативных озер во времени и пространстве. Наиболее приемлемы следующие показатели донных осадков для оценки антропогенного влияния на озерные водоемы: количество общего фосфора и содержание индикаторных биологических остатков эвтрофной стадии, определяемые в результате биологического анализа сапропеля [7] – критерии степени эвтрофирования лимнических систем.

Концентрация тяжелых металлов в залежах сапропеля является критерием техногенного загрязнения. Степень загрязнения (C_d) оценивалась по методу Л. Хакансона (Hakanson Index) [8] путем суммирования всех значений коэффициентов концентрации для данного озера. При расчете C_d важно суммировать значения коэффициентов определенного набора микроэлементов. В этот набор входят следующие тяжелые металлы: Ni, Cu, Co, Zn, Pb, Cd, Cr, V. Степень загрязнения озер техногенными веществами устанавливалась по шкале, разработанной для условий Беларуси: $C_d \leq 6$ – загрязнения отсутствуют, так как все 6 элементов имеют коэффициенты концентрации ~ 1); $6 < C_d \leq 9$ – низкая степень загрязнения; $9 < C_d \leq 12$ – умеренная; $12 < C_d \leq 15$ – повышенная; $15 < C_d \leq 18$ – высокая; $C_d > 18$ – очень высокая.

Рассчитанные согласно методологии [8] коэффициенты загрязнения поверхностных осадков позволили ранжировать озера по степень загрязнения (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты концентрации микроэлементов (Cf) и степень загрязнения (Cd) поверхностных слоев осадков озер

Озеро	Район	C_f								C_d	Степень загрязнения
		Ni	Cu	Co	Zn	Cd	Pb	Cr	V		
Слобода	Ушачский	1,0	1,1	0,9	0,8	–	2,2	0,9	1,5	6,9	низкая
Долгое	Глубокский	1,0	0,8	1,3	–	–	1,0	1,3	1,3	6,7	низкая
Святское	Ветковский	1,0	1,5	1,0	–	–	2,0	1,1	0,9	7,5	низкая
Нарочь	Мядельский	0,8	1,2	1,1	2,9	2,3	1,6	1,4	–	9,9	умеренная
Мено	Ушачский	1,5	4,0	1,9	2,3	–	1,3	1,4	1,5	12,4	повышенная

Примечание. При расчете Cd учитывались шесть первых элементов

Низкой степенью загрязнения отличаются отложения озер Долгое, Святское и Слобода, умеренной – экосистема озера Нарочь, где в осадках зафиксированы высокие коэффициенты концентрации цинка (2,9), кадмия (2,3) и свинца (1,6), что логично связать с активными боевыми действиями в Первую мировую войну [9]. Повышенная степень загрязнения экосистемы характерна для проточного гипертрофного озера Мено, испытывающего воздействие стоков с пахотных угодий и животноводческого комплекса.

Средний химический состав различных типов сапропеля, выделенных согласно промышленно-генетической классификации представлен в табл. 3. Типы осадконакопления на сапропелевых месторождениях учитываются при выборе участков разработки сырья для определенного направления использования.

Таблица 3

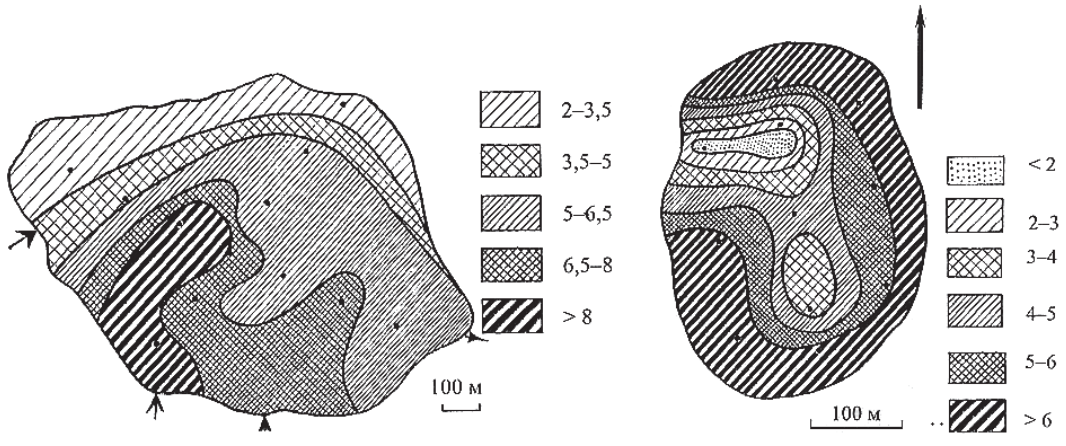
Средний валовый состав разнотипного сапропеля озер Беларуси, % на сухое вещество

Тип сапропеля	ОВ	ОПП	МВ	CO_2	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	Fe_2O_3	SO_3	P_2O_5	$N_{общ.}$	pH (KCl)
Органический	80,2	18,6	19,8	1,2	10,3	1,8	0,4	2,6	1,9	1,2	0,29	3,1	6,1
Кремнеземистый	42,4	55,2	57,6	2,4	36,2	5,7	1,4	4,0	4,6	1,1	0,48	1,95	6,5
Смешанный	36,8	51,4	63,2	11,8	21,0	2,6	0,7	16,6	5,8	1,6	0,69	1,8	7,3
Карбонатный	30,9	46,0	69,1	23,1	7,2	1,2	0,26	30,6	3,3	1,9	0,43	1,6	7,7

Проблема техногенного загрязнения отложений озер тяжелыми металлами в настоящее время имеет преимущественно локальный характер. После аварии на ЧАЭС в южном регионе Белоруссии сформировались районы с повышенным фоном радиации и происходило вторичное перераспределение нуклидов, обусловленное влиянием ландшафтных условий, наличием геохимических барьеров, формами миграции элементов. Основными аккумуляторами радионуклидов являются донные отложения водоемов Чернобыльской зоны.

Изучение радионуклидов в поверхностном слое сапропеля показало зависимость процессов их накопления от характера водосбора, морфометрии котловины, различий химических свойств радиоактивных изотопов цезия, стронция, рутения, калия и др. Установлено, что аккумуляция техногенных радиоактивных изотопов происходит в самых верхних слоях сапропеля [10]. Граница их вертикальной миграции определяется по соотношению концентраций и относительной доли Cs-137 и K-40 и зависит от формы озерной котловины, состава осадков,

уровня радиоактивного загрязнения водосбора, форм нахождения радионуклидов. В глубоководных изолированных озерах техногенное радиоактивное загрязнение осадков отмечено до глубины 0,10–0,15 м, в мелководных перемешивающихся проточных водоемах граница загрязнения может опускаться до 0,3–0,4 м вглубь разрезов, что является дополнительным критерием для фиксации экологически чистого (фонового) горизонта сапропеля. При равномерном радиоактивном загрязнении водосборов максимальные концентрации радиоизотопов наблюдаются в сапропеле проточных озер, примыкая к источникам сноса терригенного материала (рис. а). В изолированных озерах повышенные концентрации отмечены в сапропеле прибрежных участков (рис. б).



Удельная γ-активность верхнего (0–0,03 м) слоя сапропеля озер Ревучее
(а) Добрушского и Святское *(б)* Ветковского районов, кБк/кг породы естественной влажности

Исследования состава органического вещества (ОВ) по вертикальному разрезу залежей с малозольным сапропелем позволили констатировать, что повышенные количества гуминовых кислот (ГК) содержатся в приповерхностном слое. На глубине осадков с увеличением их возраста общее количество ГК и доля химически «зрелой» фракции I в них уменьшаются, что свидетельствует о разрушении алифатических частей молекул. Следует отметить также незначительное влияние немногочисленных болот на формирование органического вещества сапропеля на начальных этапах развития озер.

В осадках проточных озер содержится повышенное содержание фракции I в ГК, что свидетельствует о важности влияния реакций окисления при гумификации органического вещества сапропеля, которые способствуют обогащению современных озерных осадков многими микроэлементами, по сравнению с придонными слоями. В целом гуминовые кислоты сапропеля являются соединениями с развитой периферической частью молекул и малым вкладом ароматических структур, образовавшихся преимущественно в восстановительной среде. Средний групповой состав органического вещества сапропеля представлен в табл. 4.

Таблица 4

Среднее значение и стандартное отклонение состава органического вещества сапропеля Беларуси

Сапропель	Кол-во проб	ОВ, % СВ	Битумы	ГВ	в т.ч. ГК	ЛГ	ТГ	НГО
			% на органическое вещество					
Органический	172	80,2	3,9±1,5	39,4±10,6	23,6±9,9	21,8±8,2	9,2±4,6	27±6,5
Минерализованный	102	39,7	2,25±1,3	49,2±12,3	28,3±9,5	21,1±6,6	8,4±4,6	21,2±8,6

Установлено, что почти каждое третье торфяное месторождение в республике образовалось на месте бывшего озера. Сапропель сосредоточен в более 1250 болотах из 4400 обследованных, а общая цифра предварительно оцененных его запасов под торфом составляет 1127 млн $м^3$ или 650 млн т 60 %-ной условной влажности. Еще около 130 тыс. $м^3$ подсчитано прогнозно на неизученных объектах.

Торфоподстилающие сапропелевые отложения, сформировавшиеся в основном в раннем голоцене, в силу большего содержания органического вещества макрофитного генезиса и наличия карбонатного материала, характеризуются более сбалансированным составом, чем озерные, среди которых ведущее место занимает кремнеземистый сапропель. Под торфом ресурсы сапропеля кремнеземистого, органического и карбонатного типа сопоставимы по объемам накопления.

Отложения сапропеля под торфом позволяют установить размещение древних озер и озерность территории в начале голоценового периода. На примере торфяных месторождений западных областей, отличающихся высокой изученностью, показано, что в центральных районах, ввиду незначительной современной озерности и широкого развития в прошлом водоемов, плотность запасов торфоподстилающего сапропеля в расчете на единицу территории в 2–4 раза выше, чем отложений в современных озерах, что необходимо учитывать при выборе перспективных месторождений для разработки.

Анализ средних содержаний микроэлементов в торфоподстилающем сапропеле позволяет заключить, что данная порода обеднена многими из них по сравнению с сапропелем современных озер: титаном и хромом – более чем в 2 раза, ванадием, цирконием, медью, никелем, кобальтом – в 1,5, марганцем – в 1,3 раза. Причинами рассеяния микроэлементов в осадках озер, перекрытых впоследствии торфом, являются наличие геохимических барьеров в виде протяженных заторфованных территорий на приозерных площадях, низкая геохимическая активность среды из-за незначительного содержания гумуса в почвах водосборов.

Библиографические ссылки

1. *Лукашев В. К., Лопотко М. З., Симуткина Т. Н.* Распределение и формы нахождения элементов в сапропелях Белоруссии // Геологическое изучение территории Белоруссии. Минск, 1979. С. 168–171.

2. Особенности генезиса, состава и свойств сапропелей БССР и их практическое применение / С. В. Богданов [и др.] // Геология месторождений строительных материалов и др. немет. полезн. ископ. БССР. Минск : БелНИГРИ, 1984. С. 122–138.

3. *Курзо Б. В., Богданов С. В.* Генезис и ресурсы сапропелей Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1986.

4. *Лопотко М. З., Евдокимова Г. А.* Сапропели и продукты на их основе. Минск : Наука и техника, 1986.

5. *Гордобудская О. М., Курзо Б. В., Будай Т. К.* Характеристика фонового накопления некоторых микроэлементов в сапропелях озер Белоруссии // Геохимия. 2000. № 9. С. 1018–1024.

6. Состав современных осадков озер как индикатор природных и техногенных процессов / Б. В. Курзо [и др.] // Природные ресурсы. 1998. № 1. С. 98–107.

7. *Курзо Б. В.* Биологический состав сапропеля и остатки гидробиоты для диагностики трофического уровня озер // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2005. № 2. С. 41–46.

8. *Hakanson L.* Sediment sampling in different aquatic environments: statistical aspects // Water Resources Research. 1984. Vol. 20. № 1. P. 41–49.

9. *Зайнчковский А. М.* Мировая война 1914–1918 гг.: общестратегический очерк. М., 1924.

10. Использование искусственных сорбентов для мониторинга радиоактивности озерных бассейнов Беларуси / В. К. Лукашев [и др.] // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. 1997. № 3. С. 83–88.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ГОРОДЕ ГОМЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА БИОТЕСТИРОВАНИЯ

К. В. Левченко[1)], **Е. М. Шпадарук**[1)], **Р. М. Смолякова**[2)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, katshp@tut.by*

[2)] *Государственное учреждение здравоохранения «Минский областной клинический госпиталь инвалидов Великой Отечественной войны имени П. М. Машерова», ул, Троицкая, 35В, 223040, аг. Лесной, Минский район, Минская область, smol60@mail.ru*

В ходе исследования была произведена оценка состояния окружающей среды территорий города Гомель с различной антропогенной нагрузкой, которые представлены 9 изучаемыми точками, на основании показателей биотестирования с помощью редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.) и кресс-салата (*Lepidium sativum* L.), включающих морфометрические данные: процент всхожести семян, длина корня и стебля, масса побегов на 4-е и 7-е сутки соответственно. Согласно полученным данным биотестирования с помощью двух тест-растений наиболее загрязненной территорией являются почвы вблизи завода Гомсельмаш; наиболее чистой зоной оказались окрестности «березовой рощи».

Ключевые слова: биотестирование; водные вытяжки почв; естественные и урбанизированные территории; кресс-салат; редис посевной; количество проросших семян; морфометрические показатели; антропогенная нагрузка.

ASSESSMENT OF SOIL QUALITY IN NATURAL AND URBANIZED AREAS IN CITY OF GOMEL USING BIOTESTING METHOD

K. V. Levchenko[1)], **E. M. Shpadaruk**[1)], **R. M. Smolyakova**[2)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, katshp@tut.by*

[2)] *State Healthcare Institution «Republican Clinical Hospital of the Disabled of the Great Patriotic War named after P. M. Masherov», Troitskaya st., 35V, 223040, ag. Lesnoy, Minsk district, Minsk region, smol60@mail.ru*

In the course of the study, the environmental state of the Gomel city territories with different anthropogenic loads, represented by 9 study sites, was assessed on the basis of biotesting indicators using seed radish (*Raphanus sitvis* L.) and cress (*Lepidium sativum* L.), including morphometric data: seed germination percentage, root and stem length, shoot weight on the 4th and 7th day, respectively. According to the obtained data of biotesting using two test plants, the most polluted area is the soil near Gomselmash plant, while the cleanest area was the neighborhood of “birch grove”.

Keywords: biotesting; water extracts of soils; natural and urbanized territories; cress; radish; number of germinated seeds; morphometric indicators; anthropogenic load.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-148-152

Проблема воздействия абиотических факторов на окружающую среду является актуальной для большинства регионов мира.

Многообразные загрязняющие вещества, попадая в почву, могут претерпевать в ней различные изменения, усиливая при этом токсическое действие [4].

Это привело к необходимости принятия комплексных методов контроля качества почвы, позволяющих оценить ее свойства и возможную опасность, вызванную различными источниками загрязнения. Для интегральной оценки степени токсичности окружающей природной среды используются методы биоиндикации и биотестирования. Биотестирование позволяет оценить потенциальную опасность образцов почв, имеющих различную антропогенную нагрузку, непосредственно для живого организма [1].

Одним из эффективных методов оценки загрязнения является анализ водных вытяжек почвы. Этот метод позволяет выявлять наличие и концентрацию различных загрязняющих веществ, что способствует пониманию степени воздействия антропогенной деятельности на окружающую среду [3].

Целью исследования являлась оценка состояния окружающей среды на территории города Гомель методам биотестирования водных вытяжек почвы с помощью редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.) и кресс-салата (*Lepidium sativum* L.).

Место отбора проб подбиралось с учетом основных показателей химического состава почв, а также в соответствии с задачами исследования.

Исследуемыми точками территории города Гомель являются:

– территории с высокой антропогенной нагрузкой: точка-1 (территории вблизи Гомельского Химического завода), а также точка-2 (окрестности завода Гомсельш), точка-3 (территории вблизи автомагистрали Гомель-Речица);

– спальные районы с усредненной антропогенной нагрузкой: точка-4 (микрорайон Волотова), точка-5 (микрорайон Мельников Луг, ул. Мазурова) и точка-6 (микрорайон Мельников Луг, ул. Головацкого);

– условно чистые территории Гомеля: точка-7 (лес «березовая роща»), точка-8 (центральный парк Румянцевых и Паскевичей), точка-9 (территории, прилегающие к озеру Волотовское).

Оценку состояния исследуемых образцов почвы определяли с использованием метода биотестирование водных вытяжек почв, а именно по проценту всхожести семян и морфометрическим показателям редиса посевного (Raphanus sitvis L.) и кресс-салата (Lepidium sativum L.), включавших длину стеблей и корней исследуемых тест-объектов на 4-е и 7-е сутки, также массу проросших семян.

Для оценки почв с различной антропогенной нагрузкой использовалась классификация загрязнений по морфометрическим показателям исследуемого растения-индикатора [3].

При анализе данных биотестирования с помощью редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.) была проведена оценка загрязненности окружающей среды города Гомель по морфометрическим показателям исследуемого тест-объекта. При изучении процента всхожести семян нами было установлено, наиболее низкие показатели выявлены в точке- 2: на 4-е сутки данный показатель составил 28 %, на 7-е сутки – 42,6 %; в точке-3 – на 4-е сутки составил 32 %, на 7-е сутки – 39,3 %. Наиболее высокий процент всхожести семян был установлен в точке-7: на 4-е сутки составил 84,6 %, на 7-е сутки –92 % семян. В точке-1 на 4-е сутки всхожесть семян составила 62,6 %, на 7-е сутки – 68,6 %; точке-4 на 4-е сутки – 69,3 %, на 7-е сутки – 74,6 %; точке-5 – 73,3 % на 4-е сутки, на 4-е сутки – 78 %; в точке-6 на 4-е сутки – 70 %, на 7-е – 78% семян; в точке-8 на 4-е сутки – 83,3 % и на 7-е сутки – 91,3 %; в точке-9 на 4-е – 85,3 % и на 7-е сутки отмечалась всхожесть семян в 90,6 %.

При оценке данных длины корней редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.) на 4-е и 7-е сутки были установлены следующие результаты: в точке-1 длина составила 65,80 ± 0,42 мм на 4-е сутки и 84,06 ± 0,09 мм на 7-е сутки; в точке-2 – 36,86 ± 0,15 мм на 4-е сутки, 65,03 ± 0,25 мм на 7-е сутки; в точке-3 – 35,03 ± 0,15 мм и 67,43 ± 0,49 мм соответственно;

в точке-4 на 4-ые сутки – 71,70 ± 0,42 мм и на 7-е сутки – 120,90 ± 0,28 мм; в точке-5 на 4-е сутки – 71 ± 1,41 мм, на 7-ые сутки – 122 ± 2,82 мм; в точке-6 на 4-е сутки – 72,95 ± 1,20 мм и на 7-ые –123,10 ± 1,27 мм; в точке-7 на 4-ые сутки – 91,27 ± 0,30 мм, на 7-е сутки – 138,76 ± 0,25 мм; в точке-8 на 4-е сутки – 90,55 ± 0,63 мм и на 7-е сутки – 137,05 ± 1,2 мм; в точке-9 на 4-ые сутки – 90,56 ± 0,20 мм, на 7-е сутки –136,30 ± 0,36; при контроле (водопроводная вода) равным 95,50 ± 2,47 мм на 4-е сутки и 148,30 ± 3,74 мм на 7-е сутки (таблица 1). Таким образом, наиболее загрязненными точками являются: точка-2 и точка-3, наиболее чистой точкой является – точка-7.

В ходе оценки состояния длины стеблей исследуемого тест-объекта (*Raphanus sitvis* L.) было выявлено, что наиболее техногенно-загрязненными являются точки 2 и 3 согласно таблице 1. Длина стеблей в точке-2 на 4-е сутки составила 55,66 ± 0,20 мм, на 7-е сутки 66,53 ± 0,20 мм; в точке-3 – на 4-е сутки – 58,53 ± 0,55 мм и на 7-е сутки – 72,46 ± 0,25 мм. Наиболее благоприятная обстановка для роста длины стеблей наблюдалась в точке-7: длина стеблей на 4-е сутки составила 104,96 ± 0,25 мм, на 7-е сутки 111,46 ± 0,47 мм.

Исходя из данных таблицы 1, наибольший прирост массы побегов установлен в точке-7: на 4-е сутки масса составила 0,91 ± 0,03 г и на 7-ые сутки – 1,65 ± 0,11 г. Наиболее низкая масса побегов детектирована в точках 2 и 3, характеризовавшиеся следующими значениями: на точке-2 на 4-ые сутки масса побегов составила 0,33 ± 0,02 г и 7-е сутки – 0,75 ± 0,06 г; на точке-3 – 0,37 ± 0,5 г и 0,78 ± 0,01 г соответственно.

Таблица 1

Морфометрические показатели редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.)

Исследуемые точки	Длина корней мм		Длина стеблей мм		Масса побегов грамм	
	4-ые сутки	7-ые сутки	4-ые сутки	7-ые сутки	4-ые сутки	7-ые сутки
1 точка	65,80 ± 0,42	84,06 ± 0,09	76,23 ± 0,30	92,5 ± 0,20	0,57 ± 0,02	0,85 ± 0,04
2 точка	36,86 ± 0,15	65,03 ± 0,25	55,66 ± 0,20	66,53 ± 0,20	0,33 ± 0,02	0,75 ± 0,06
3 точка	35,03 ± 0,15	67,43 ± 0,49	58,53 ± 0,55	72,46 ± 0,25	0,37 ± 0,5	0,78 ± 0,01
4 точка	71,70 ± 0,42	120,90 ± 0,28	85,06 ± 0,11	93,26 ± 0,20	0,66 ± 0,02	1,06 ± 0,04
5 точка	71 ± 1,41	122 ± 2,82	84,16 ± 0,30	90,33 ± 0,05	0,66 ± 0,03	1,08 ± 0,02
6 точка	72,95 ± 1,20	123,10 ± 1,27	86,30 ± 0,26	93,63 ± 0,37	0,69 ± 0,34	1,13 ± 0,07
7 точка	91,27 ± 0,30	138,76 ± 0,25	104,96 ±0,25	111,46 ± 0,47	0,91 ± 0,03	1,65 ± 0,11
8 точка	90,55 ± 0,63	137,05 ± 1,2	95,53 ± 0,37	109,2 ± 0,43	0,81 ± 0,01	1,43 ± 0,28
9 точка	90,56 ± 0,20	136,30 ± 0,36	93,40 ± 0,36	107,13 ± 0,40	0,85 ± 0,04	1,65 ± 0,05
контроль	95,50 ± 2,47	148,30 ± 3,74	118,3 ± 0,30	132,7 ± 0,20	0,98 ± 0,14	1,88 ± 0,16

Таким образом, при анализе данных биотестирования с помощью редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.) нами было установлено, что наибольшей загрязненностью обладали окрестности завода Гомсельмаш и территории вблизи автомагистрали Гомель-Речица, характеризовавшиеся низкими результатами всхожести семян на 4-е и 7-е сутки. По морфометрическим показателям тест-объектов, точка-2 и точка-3 обладали умеренным уровнем загрязнения, которое характеризовалось тем, что проростки мельче и тоньше в сравнении с контролем, некоторые имеют уродства. Территории леса «березовая роща», наоборот, характеризовались положительной динамикой в количестве проросших семян и в их морфометрических показателях: длина корней и стеблей, масса побегов на 4-е и 7-е сутки.

Согласно данным, полученных в ходе анализа биотестирования с использованием кресс-салата (*Lepidium sativum* L.), была проведена оценка уровня загрязненности почв в городе Гомель на основе морфометрических показателей данного тест-объекта на 4-е и 7-е сутки. Изучая, процент всхожести семян тест-объекта в точке-1 было установлено, что на четвертые сутки всхожесть семян составила 62 %, на 7-е сутки – 80 %; в точке-2 на 4-е сутки – 24 %, на 7-е сутки – 48 %; в точке-3 на 4-е сутки – 18 % и на 7-е сутки – 42 %; в точке-4 на 4-е сутки – 58 %, на 7-е сутки – 76 %; в точке-5 на 4-е сутки – 62 % семян, на 7-е сутки – 74 %; в точке-6 на 4-е сутки – 64 %, на 7-е – 78 %; в точке-7 на 4-е – 74 %, а на 7-е сутки – 90 %; в точке-8 на 4-е сутки – 76 % и на 7-е сутки – 84 %; в точке-9 на 4-е – 74 % и на 7-е сутки – 88 %. Таким образом, в точках 2 и 3 антропогенные факторы оказывают негативное воздействие на всхожесть семян растения-индикатора, вызванное выбросами отходов производства и накоплением тяжелых металлов в почве.

Исходя из данных таблицы 2 о морфометрических показателях кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) было зафиксировано, что наибольшая степень загрязнения выявлена на территории вблизи завода Гомсельмаш. Эта зона характеризовалась низкими морфометрическими показателями: средние значения длины корней для исследуемой точки на 4-е сутки составили 11,27 ± 0,09 мм, а на 7-е сутки – 26,18 ± 0,07 мм; длина стеблей на 4-е сутки – 20,59 ± 0,02 мм и на 7-е сутки – 27,1 ± 0,2 мм. Более высокие параметры длины корней и стеблей отмечались в точке-7: длина корней на 4-е сутки составила 46,11 ± 0,12 мм и на 7-е сутки – 56,21 ± 0,09 мм; длина стеблей кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) на 4-е сутки составила 122,2 ± 0,36 мм и на 7-е сутки – 139,16 ± 0,30 мм. Анализируя данные массы побегов, можно сделать вывод о том, что наибольшая техногенная нагрузка установлена на точке-3: масса побегов на 4-е сутки составила 0,05 ± 0,08 г и на 7-е сутки – 0,16 ± 0,05 г; наименьшая антропогенная нагрузка выявлена в точке-7: на 4-е сутки масса побегов составила 0,19 ± 0,03 г, на 7-е – 0,32 ± 0,03 г.

Таблица 2

Морфометрические показатели кресс салата (Lepidium sativum L.)

Исследуемые точки	Длина корней мм		Длина стеблей мм		Масса побегов грамм	
	4-ые сутки	7-ые сутки	4-ые сутки	7-ые сутки	4-ые сутки	7-ые сутки
1 точка	37,87 ± 1,23	49 ± 1,41	39,7 ± 0,84	51,3 ± 0,98	0,31 ± 0,21	0,23 ± 0,06
2 точка	11,27 ± 0,09	26,18 ± 0,07	20,59 ± 0,02	27,1 ± 0,20	0,04 ± 0,01	0,24 ± 0,17
3 точка	14,5 ± 0,70	29,65 ± 0,49	28,61 ± 0,24	30,65 ± 0,77	0,05 ± 0,08	0,16 ± 0,05
4 точка	35,67 ± 0,81	46,9 ± 0,84	88,46 ± 0,79	46,3 ± 4,38	0,14 ± 0,01	0,22 ± 0,05
5 точка	38,87 ± 0,17	45,67 ± 0,81	76,9 ± 0,84	84,5 ± 0,84	0,16 ± 0,01	0,22 ± 0,04
6 точка	39,1 ± 1,27	47,97 ± 1,09	88,75 ± 1,20	88,51 ± 0,57	0,14 ± 0,03	0,23 ± 0,05
7 точка	46,11 ± 0,12	56,21 ± 0,09	122,2 ± 0,36	139,16 ± 0,30	0,19 ± 0,03	0,32 ± 0,03
8 точка	47,23 ± 0,25	52,16 ± 0,30	118,76 ± 0,32	133,86 ± 0,75	0,19 ± 0,04	0,25 ± 0,03
9 точка	47,12 ±1,23	54 ± 1,41	120,36 ± 1,93	146,92 ± 1,30	0,18 ± 0,08	0,30 ± 0,01
контроль	52,1 ± 3,18	57,82 ± 1,30	143,25 ± 0,63	161,28 ± 3,22	0,20 ± 0,02	0,34 ± 0,02

Таким образом, на основе полученных данных о всхожести семян и морфометрических показателях оба тест-объекта не имеют значительных различий в оценке состоя-

ния окружающей среды города Гомель. С учетом анализа исследуемых показателей двух тест-растений (редиса посевного (*Raphanus sitvis* L.) и кресс-салата (*Lepidium sativum* L.)) можно сделать вывод о том, что наиболее техногенно-загрязненной территорией явилась – точка-3 (окрестности завода Гомсельмаш), это можно связать с высоким антропогенным воздействием и большим количеством выбросов побочных продуктов производства завода Гомсельмаша, которые накапливаются в почве. Наиболее чистой территорией, по нашим данным, оказалась точка-7 (лес «березовая роща»), что говорит об отсутствии накопления загрязняющих веществ в почве и низким уровнем антропогенного давления на окружающую среду.

Библиографические ссылки

1. *Башкин В. Н., Курбатова А. С.* Методологические основы оценки критических нагрузок поллютантов на городские экосистемы. М., 2004.

2. *Марцуль В. Н., Капориков В. П., Головач А. М.* Экология и контроль состояния окружающей среды: учеб.-метод. пособие к практическим занятиям. Минск: БГТУ, 2009.

3. Экологическая практика: пособие. / О. В. Лозинская [и др]. Минск: ИВЦ Минфина, 2023.

4. *Туманов А. А.* Большая российская энциклопедия 2004-2017 [Электронный ресурс] // Биологические методы анализа. URL: https://old.bigenc.ru/chemistry/text/1867132 (дата обращения: 07.02.2025).

ЭКОЛОГИЧНЫЕ МЕТОДЫ ДУБЛЕНИЯ КОЖИ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Д. С. Леонкова[1)], **М. С. Храповицкая**[2)]

[1)] *Химический факультет Белорусского государственного университета, ул. Ленинградская, 14, 220006, г. Минск, Беларусь, chem@bsu.by*
[2)] *Национальный детский технопарк, ул. Франциска Скорины, 25 корпус 3, 220114 г. Минск, Беларусь, tehnopark@ndtp.by*

В работе усовершенствованы известные методы растительного и титанового дубления, которые ранее не применялись на предприятиях кожевенного производства в Республике Беларусь. Описанные способы позволяют получить образцы, которые соответствует ГОСТам о качестве кожи, а также они являются экологически безопасными для окружающей среды.

Ключевые слова: дубление; дубильные вещества; титановое дубление; растительное дубление; кожа.

ECO-FRIENDLY METHODS OF TANNING LEATHER BASED ON VEGETABLE AND SYNTHETIC RAW MATERIALS

D. Leonkova[1)], **M. Khrapovitskaya**[2)]

[1)] *Chemical faculty of the Belarusian State University, Leningradskaya St., 14, 220006, Minsk, Belarus, chem@bsu.by*
[2)] *National Children's Technopark, Francis Skoryna St., 25, building 3, 220114 Minsk, Belarus, tehnopark@ndtp.by*

The work has improved the well-known methods of vegetable and titanium tanning, which were not previously used in tanneries in the Republic of Belarus. The described methods make it possible to obtain samples that comply with GOST standards for leather quality, and they are also environmentally friendly.

Keywords: tanning; tannins; titanium tanning; vegetable tanning; leather.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-153-155

В Республике Беларусь функционирует 4 предприятия кожевенной промышленности. В качестве основного реагента используются соединения трёхвалентного хрома, которые являются эффективными и дешёвыми, но токсичными для окружающей среды, загрязняя сточные воды и остатки кожи, что делает невозможным переработку отходов кожевенного производства [1].

Таким образом, разработка экологичных методов дубления на основе растительного и синтетического сырья является актуальной научной задачей, которая способствует развитию кожевенного производства.

Одними из альтернативных методов дубления является растительное и титановое дубление. Принцип растительного дубления заключается во взаимодействии подготовленной кожи с танинами, содержащимися в растительном сырье. Мы использовали в качестве растительного сырья кору дуба и ивы, так как они являются отходами на предприятиях фармацевтической и деревообрабатывающей промышленности. Принцип титанового дубления заключается во взаимодействии подготовленной кожи с ионами титана(III). Ранее данный вид дубления рассматривался лишь с применением титанилсульфата [2]. На территории Республики Беларусь функционирует множество предприятий, отходами которых является губка титана.

Подготовительный процесс состоит из нескольких стадий: отмачивание, золение, обеззоливание и пикелевание. Во время отмачивания из кожи вымываются все лишние соли, применяемые для её консервации. Далее идёт стадия золения, где необходимо избавиться от волосяного покрова и обесцветить кожу. Обеззоливание проводят, чтобы нейтрализовать реагенты, используемые на стадии золения. Пикелевание используется для размягчения и разрыхления волокон кожи, для лучшего проникновения дубящих веществ в толщу дермы и связывания с коллагеном кожи [3]. Распространёнными реагентами для обеззоливания и пикелевания является соляная и серная кислоты. Для золения невозможно заменить неорганические реагенты на органические и безопасные, в отличие от обеззоливания и пикелевания, где можно найти альтернативу из органических и экологически безопасных соединений.

На первых этапах образцы подготовленной кожи отмачивались в течение суток. Далее были помещены в раствор негашеной извести, где прошёл процесс золения. Масса негашеной извести составляла 10 % от массы голья. По прошествии 10 суток со шкурок были сняты волоски и с помощью ножа срезаны лишняя кожа и жир.

На стадиях обеззоливания и пикелевания мы заменили серную и соляную кислоты на молочную кислоту. Молочная кислота – является органической кислотой, которая обладает природными антимикробными свойствами, является безопасной для человека и окружающей среды.

Посредством промывания под проточной водой и обработки слабокислым раствором молочной кислоты было произведено обеззоливание образцов, что прекратило процесс золения. Далее шкурки помещались в раствор хлорида натрия и молочной кислоты с концентрацией 50 и 20 г/см^3 соответственно и температурой 35 °С. Образцы кожи находились в приготовленном растворе в течение 16 часов. Заключительным этапом подготовительного процесса является пролежка в течение 24 часов.

Для растительного дубления использовали измельчённую кору дуба, ивы, предварительно замачивая их в воде и смешивая с 55 граммами хлорида натрия. Растворы кипятились в течение 20 минут, и затем отфильтровывались. Образцы помещались в охлаждённый до комнатной температуры раствор, чтобы не испортить кожу. Процесс дубления продолжался на протяжении 3,5 недели.

Для титанового дубления голье помещали в ёмкость, наливали воду с температурой 23-26^{o}С. Затем вводили титановый дубитель, титанилсульфат (III), при его расходе 20-30 % от массы голья (4-6 % в пересчёте на диоксид титана), сульфат аммония в количестве 4-6 % от массы голья и комплексующий агент, молочную кислоту 0,5-2,0 % от массы голья. Дубление продолжалось в течение 18-20 часов.

Для сравнения с образцами растительного и титанового дубления проводилось хромовое дубление по известным методикам [4]. В качестве дубящего соединения хрома использовали его хлорид с концентрацией 150-170 г/дм^3. Объём пикеля должен быть равен объёму раствора солей хрома. Через 3-4 часа после начала дубления при полном прокрасе среза (голубо-зелёный цвет) заливается 5-10 % раствор карбоната натрия в количестве 0,3 % от массы сырья. Раствор заливается медленно, чтобы не произошло отложения гидроксида хрома на лицевой поверхности шкурок. Через 6-8 часов определяют продубленность кожи. Весь процесс длится не более суток.

После дубления следовала пролежка в течение суток, крашение посредством отмачивания в отварах красящих растений, жирование с помощью жировочной смеси на основе глицерина и яичного желтка и сушка образцов.

Полученные образцы были проверены на соответствие ГОСТам об отдушистости, хрупкости и ломкости [5; 6], о содержании золы, водовымываемых веществ и pH хлоркалиевой вытяжки [7; 8; 9]. Были составлены сравнительные таблицы (табл. 1-3).

Таблица 1

Сравнение полученной массы золы с допустимыми значениями

Образцы	Массовая доля золы, %	Допустимая доля, %, не более
Растительное дубление (ива)	0,22	0,6
Растительное дубление (зелёный чай)	0,26	
Хромовое дубление	0,5	
Титановое дубление	0,46	

Таблица 2

Сравнения полученных долей общих, неорганических и органических водовымываемых веществ с допустимыми значениями

Образцы	Доля неорганических водовымываемых в-в, %	Доля органических водовымываемых в-в, %	Допустимое кол-во общих водовымываемых в-в, %, не более
Растительное дубление (ива)	0,08	0,20	4,0
Растительное дубление (зелёный чай)	0,13	0,24	
Хромовое дубление	0,27	0,01	
Титановое дубление	1,0	1,38	

Таблица 3

Сравнение водородного показателя полученных образцов с допустимыми значениями

Образцы	Значения pH	Допустимые значения pH
Растительное дубление (ива)	4,94	4,0-5,0
Растительное дубление (зелёный чай)	4,82	
Хромовое дубление	4,07	
Титановое дубление	3,60	

Библиографические ссылки

1. Кравченя Г. Н., Кордикова Е. И., Спиглазов А. В. Направления и возможности переработки отходов кожевенного производства // Труды БГУ. Минск, 2017. Выпуск №2 с. 220-226.
2. Sharphouse J.H. Studies on the fixation of titanium straight and combination tanning systems – PART V // Society of Leather Technologists Chemists. 1985. Vol. 69, № 2 p. 29-43.
3. The Leather Industry: A Chemistry Insight Part I: an Overview of the Industrial Process / V. Beghettoa // Edizioni Ca’ Foscari. 2013. Vol. 8. p. 13-21.
4. Covington A.D. Tanning Chemistry. The Science of Leather : Cambridge, RSC Publishing, 2009.
5. Кожа / Методы испытания на отдушистость: межгосударственный стандарт ГОСТ 938.31-78 - СССР, комитет по стандартам СССР - 1980 с. 133.
6. Кожа / Методы испытания на ломкость и хрупкость: межгосударственный стандарт ГОСТ 938.30-78 - СССР, комитет по стандартам СССР - 1979 с. 128.
7. Кожа / Метод определения содержания золы: межгосударственный стандарт ГОСТ 938.2-67 - СССР, комитет по стандартам СССР - 1967 с. 38.
8. Кожа / Метод определения водовымываемых веществ: межгосударственный стандарт ГОСТ 938.6-68 - СССР, комитет по стандартам СССР - 1986 с. 52.
9. Кожа / Метод определения pH хлоркалиевой вытяжки: межгосударственный стандарт ГОСТ 938.8-69 - СССР, комитет по стандартам СССР - 1969 с. 62.

ПОЛИМОРФИЗМ «СЕДОГО» ПЯТНА ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ КЛЕВЕРА ПОЛЗУЧЕГО – КАК МЕТОД ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ

О. В. Лозинская[1)], **Д. А. Стельмачёнок**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aromia@rambler.ru*

Полиморфизм «седого» пятна листовой пластинки клевера ползучего (Trifolium repens L.) представляет собой важный диагностический признак, отражающий генетическую и фенотипическую изменчивость данного вида. В статье рассматривается использование морфометрических параметров «седого» пятна (размер, форма, интенсивность окраски) в качестве индикатора стабильности развития клевера ползучего в различных условиях среды. Анализ полиморфизма позволяет оценить влияние абиотических (климатические факторы, почвенные условия) и биотических (патогены, конкуренция) факторов на онтогенез растения.

Ключевые слова: загрязнения окружающей среды; фитоиндикаторы; стабильность развития; биоиндикаторы; полиморфизм.

POLYMORPHISM OF “GRAY” SPOT OF LEAF BLADE OF CREEPING CLOVER – AS A METHOD FOR ASSESSING STABILITY OF DEVELOPMENT

O. V. Lozinskaya[1)], **D. A. Stelmachenok**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, aromia@rambler.ru*

The polymorphism of the «gray» spot of the leaf blade of creeping clover (Trifolium repens L.) is an important diagnostic feature reflecting the genetic and phenotypic variability of this species. This article discusses the use of morphometric parameters of the «gray» spot (size, shape, color intensity) as an indicator of the stability of the development of creeping clover in various environmental conditions. Polymorphism analysis makes it possible to assess the influence of abiotic (climatic factors, soil conditions) and biotic (pathogens, competition) factors on plant ontogenesis.

Keywords: environmental pollution; phyto-indicators; development stability; bioindicators; polymorphism.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-156-160

Введение. Одной из издержек научно-технического прогресса является деградация естественных экосистем, которая выражается, в снижении биологического разнообразия и нарушении нормального функционирования природных сообществ. Биоиндикаторы – это организмы или сообщества организмов, количество или жизненные функции тесно связаны с определенными факторами среды, которые и используются для оценки окружающей среды [1].

Клевер ползучий, или Клевер белый (лат. *Trifolium repens*) – растение из рода Клевер подсемейства Мотыльковые семейства Бобовые [2].

Характерной особенностью природных популяций клевера ползучего является полиморфизм по форме седого рисунка (пятна) на листовой пластинке. Рисунок на листе может отличаться расположением, окраской, интенсивностью проявления, размером. Форма седого рисунка на пластинках листа клевера белого и частота его встречаемости – индикатор загрязнения среды обитания [3].

Материал и методы. В качестве *объектов исследований* были выбраны растения-биоиндикаторы разной систематической принадлежности клевер (*Trifolium repens* L.), обладающий индикационными фенотипическими свойствами.

Территориями для исследований были выбраны города Минск и Белыничи,по причине значительной разницы влияния антропогенного фактора и уровня загрязнения среды посредством выброса вредных отходов предприятий. Минск – город с повышенным уровнем антропогенной нагрузки, по причине густонаселенности и изобилия различных заводов на исследуемых территориях. В то время как Белыничи насчитывают всего 10 предприятий, рассредоточенных по разным частям города. Например, рядом с исследуемой точкой на улице Дайнеко располагается упаковочная компания БелДИДан.

Предметом исследования были тест-критерии вариаций наличия белого пятна на листьях клевера ползучего.

Сбор материала производился с июня по июль 2023 года. Всего было обследовано 1600 растений на 16 площадках. Далее проводился подсчет листьев растений *Trifolium repens* с разными формами «седых» пятен на листьях.

В работе использованы стандартные методы биоиндикации (морфологические, фенетические), а также статистической обработки и анализа.

Частоту встречаемости разных генотипов и фенотипов рассчитывают, как долю растений того или иного генотипа в данной выборке, выраженную в процентах.

$$P_i = \frac{Чn_i}{N} \times 100\%,$$

А индекс соотношения фенов по формуле:

$$ИСФ = \frac{Ч(n_2+n_3+\ldots)}{N} \times 100\%,$$

где P_i – частота i-го фена; n_i –количество растений с i-тым рисунком на листовой пластинке; N – общее число учтенных растений.

Классификацию исследуемых территорий по уровню их загрязнения определяли на основании величины индекса соотношения фенов (таблица 1).

Таблица 1

Показатели индекса соотношения фенов (Ашихмина Т. Я.) [3]

Классификация загрязнения среды	Показатель ИСФ, %
Очень чистые	0–30
Чистые	30–45
Загрязнённые	45–70
Очень грязные	70–100

Результаты. По полученным данным был рассчитан индекс соотношения фенов клевера ползучего (рис. 1). Так, показатели ИСФ на территории г. Минска находятся в диапазоне 24–91 %. Результаты анализа показали, что все территории, кроме точки 10 (ул. Одоевского-Бельского) (ИСФ составил 24 %), подвержены высокой антропогенной нагрузке. Самые высокие показатели загрязнённости оказались в точке 5 (91 %), 7 (89 %) и 6 (78 %). Эти точки подвержены характеризуются высокой автотранспортной нагрузкой, проводится постоянное скашивание, что приводит к увеличению ИСФ.

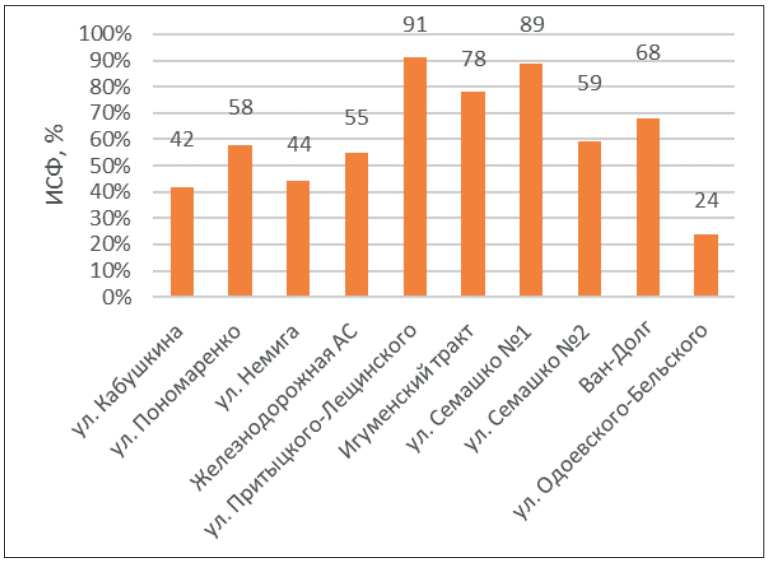


Рис. 1. Значения ИСФ популяций Trifolium repens на изучаемых точках г. Минска

Разнообразие растений по признаку «седого» пятна определяется серией множественных аллелей гена V. Наличие «седого» пятна на листьях – признак доминантный (V), его отсутствие – рецессивный (v). Все аллели гена V нарушают нормальное развитие хлорофилла в палисадных клетках светлой зоны листа. Нами была рассчитана частота встречаемости различных фенов и разнообразие фенотипов на каждой территории (рис 2).

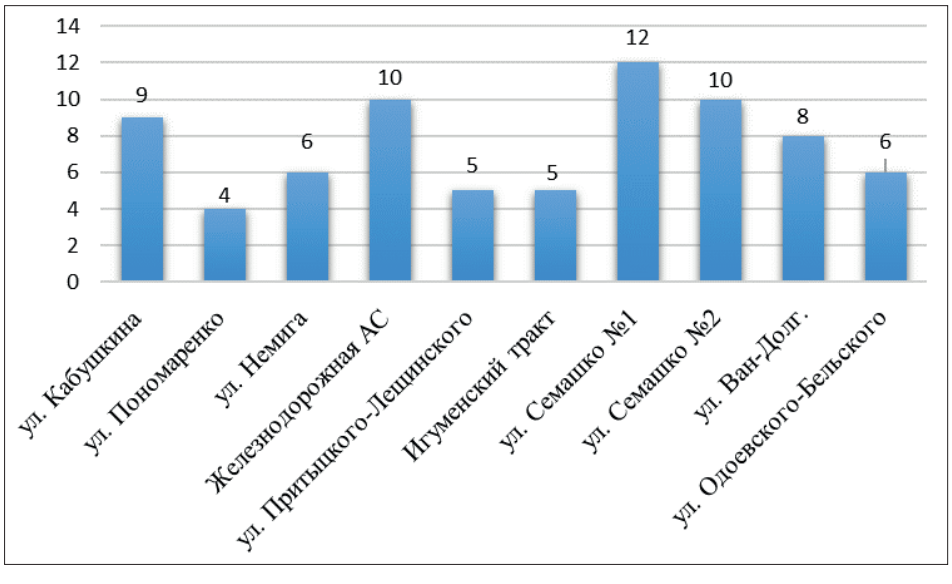


Рис. 2. Разнообразие фенотипов клевера ползучего, произрастающего на территории г. Минска

Результаты фенотипического анализа популяций *Trifolium repens* на территории г. Минска показывают наличие широкого спектра измененных генотипов практически во всех исследованных точках. Как видно на гистограмме (рис.3) территория г.Минска Характеризуется широким диапазоном фенотипов (от 4 до 12). Совокупность же всех фенов на территории г. Минска представлена достаточно большим разнообразием рисунка «седого» пятна на листовой пластинке (24 вида).

Наибольшим разнообразием характеризуются точки 7, 8, 4 и 1. Анализ «седого» пятна на листьях, собранных в точке 7 (ул. Семашко №1) наблюдается резкое уменьшение листьев без пятна (10 %) и увеличивается количество: $V^{H}V^{H}$ (30 %), $V^{F}V^{bh}$ (27 %). Количество фенотипов

увеличивается до 12, что свидетельствует о высокой степени антропогенной нагрузки и нестабильности развития данного фитоиндикатора. Точка 8 (ул. Семашко №2) характеризуется более высоким процентным соотношением генотип: vv (41 %). В этой точке наблюдается появление 10 фенотипов.

В точке 4 (АС Железнодорожная) показано, что наиболее часто встречающимся генотипом является vv (45 %). Разнообразие фенотипов составляет – 9. Здесь зарегистрированы редкие генотипы, с низкой частотой встречаемости VV (4 %), V^PV^P (4 %), V^PV^{Bh} (4 %).

В популяции, произрастающей в точке 1 также наиболее часто встречается генотип vv (58 %). Разнообразие фенотипов составляет – 9. К редко встречающимся относятся генотипы: V^PV^H (3 %), V^PV^{Bh} (3 %)

Наименьшее разнообразие фенотипов показано для точек 2, 5, 6. Анализ «седого» пятна на листьях, собранных в точке 2 (ул. Пономаренко) показал, что наиболее часто встречающийся генотип: vv (42 %). Встречаются такие генотипы как: V^HV^H (28 %) и V^PV^P (26 %). Точки 5 (ул. Притыцкого-Лещинского) и 6 (Игуменский тракт) характеризуются преобладанием таких генотипов как V^PV^P (58 %) и V^HV^H (58 %) соответственно. Разнообразие в этих точках представлено 5 генотипами.

Данные фенотипического анализа по г. Минску отражают увеличение частоты встречаемости редких фенотипов. Большое разнообразие у городских постоянно обновляющихся популяций под влиянием вытаптывания, выкашивания объясняется способностью к адаптациям в постоянно изменяющихся условиях, при увеличении числа фенотипов.

Результаты исследований, проведенных исследований в г. Белыничи представлены на рисунке 3.

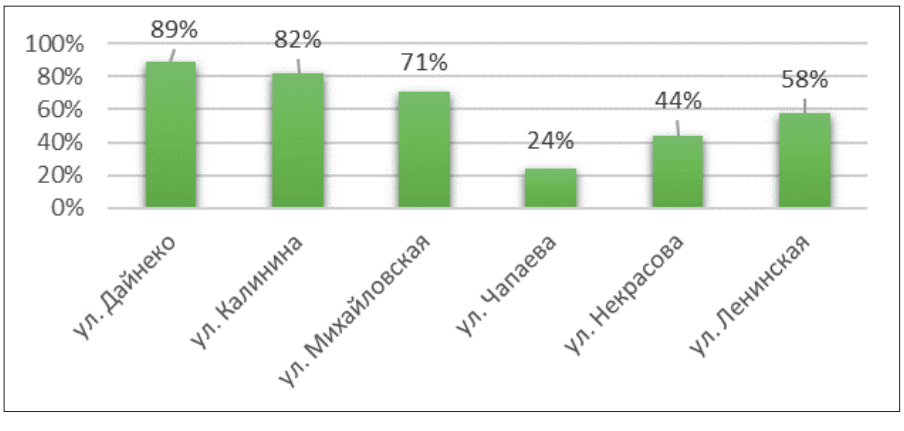


Рис. 3. Значения ИСФ популяций Trifolium repens на изучаемых точках г. Белыничи

Как видно на гистограмме из 6 точек тол в двух точках (ул Чапаева и Некрасова) ИСФ составляет 24 и 44 % соответственно. В остальных точках значения ИСФ очень высокие, что свидетельствует о загрязненности территории г. Белыничи.

Анализ «седого» пятна на листьях, собранных на ул. Дайнеко показал, что наиболее часто встречающийся генотип: vv (20 %). На улице Дайнеко наблюдается проявление 8 фенотипов. Данная территория существенно подвержена антропогенному влиянию из-за воздействия на популяцию различных негативных факторов, в частности здесь находится упаковочная компания БелДИДан. Разнообразие фенотипов составляет 8 (рис.4).

На улице Калинина ситуация аналогичная. Наиболее часто встречающийся генотип: vv (25 %). Здесь также наблюдается проявление 8 фенотипов.

Анализ «седого» пятна на листьях, собранных в остальных точках, показывает уже увеличение числа неизмененных генотипов, что приводит к уменьшению значений ИСФ. Самый низкий ИСФ показан для улицы Чапаева – 24 %. Разнообразие фенотипов невысокое от 6 до 9.

При этом надо отметить, что в выбранных точках на территории г.Белыничи не наблюдается редких генотипов (от 1–2 %). Что свидетельствует о стабильности развития популяций.

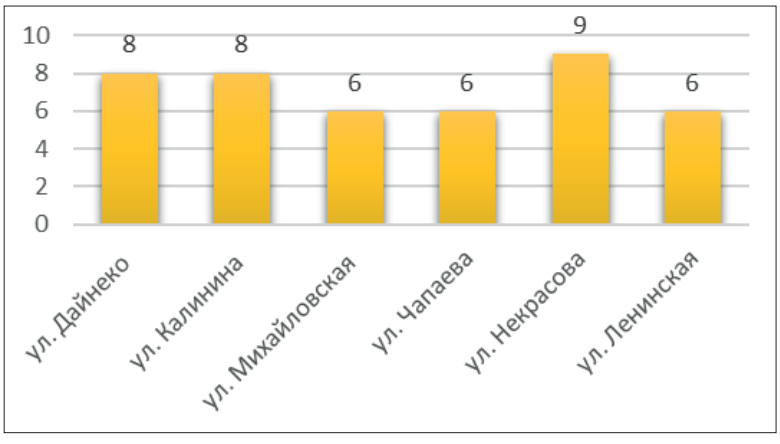


Рис. 4. Разнообразие фенотипов *Trifolium repens* произрастающего на территории г. Белыничи

Сравнительный анализ фенотипического разнообразия листьев клевера ползучего, произрастающих в условиях города Минска и города Белыничи, показал, что популяции клевера характеризуются значительным фенотипическим разнообразием. Выявлено доминирование фена без рисунка (vv), а также отмечено появление редких венов (1-3 %). В зависимости от уровня загрязнения изменяется количество фенов от 5-6 до 9-12 и индекс соотношения фенов от 24,4-44,0 до 55,0-91,1 (рис. 2,4). Такое увеличение связано с большей антропогенной нагрузкой, чем в городе Белыничи.

Это в очередной раз подтверждает тот факт, что городские территории постоянно испытывают на себе антропогенный стресс, и даже на условно чистых территориях (парковые зоны) популяции являются постоянно обновляющимися, а значит, обладают широким диапазоном адаптаций

Таким образом, в результате исследований нами показано, что для городских экосистем клевера ползучего характерен фенетический полиморфизм. Степень полиморфизма, как правило, связана с возрастом популяций и с комплексным влиянием факторов окружающей среды. Исходя из показателей ИСФ территорий, следует, что на территории г. Минск высокий уровень антропогенной нагрузки, в сравнении с городом Белыничи.

Библиографические ссылки

1. *Чубирко, М. И.* Здоровье и среда обитания населения Воронежской области. Воронеж: Издательство «Черноземье», 2010.

2. *Белюченко, И. С.* Введение в экологический мониторинг. Краснодар, 2004.

3. *Ашихмина, Т. Я.* «Экология родного края» : учебное пособие для учащихся и учителей школ; Т. Я. Ашихмина. Киров, 1996 г. С 715

ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН МАКРОПЛАСТИКОМ В МЕСТАХ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ РЫБАЛКИ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ Г. МИНСКА)

А. А. Мелешко[1)], **Т. И. Кухарчик**[1)], **М. Л. Синицкая**[1)]

[1)] *Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, nestasssia@gmail.com*

Обсуждаются методические подходы к изучению загрязнения прибрежных зон водоемов макропластиком в местах любительской рыбалки. На примере ряда водоемов г. Минска выполнены полевые работы с использованием двух методов, дополняющих друг друга: маршрутного метода и метода площадок. Определены основные виды отходов и их наименования, количество и размеры фрагментов. Обсуждаются различия в уровнях накопления макропластика в местах любительской рыбалки. Результаты исследования могут способствовать разработке эффективных мер по снижению загрязнения водных экосистем.

Ключевые слова: отходы пластика; прибрежная зона; любительская рыбалка; типы полимеров

STUDY OF POLLUTION OF COASTAL ZONES WITH MACROPLASTICS IN PLACES OF RECREATIONAL FISHING (ON EXAMPLE OF WATER BODIES OF MINSK)

A.A. Meleshko[1)], **T. I. Kukharchyk**[1)], **M. L. Sinitskaya**[1)]

[1)] *Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Skoriny St., 10, 220076, Minsk, Belarus, nestasssia@gmail.com*

Methodological approaches to the study of pollution of coastal zones of reservoirs by macroplastics in places of recreational fishing are discussed. Field work was carried out using two methods that complement each other (the route method and the site method) on the example of a number of reservoirs in Minsk. The main types of plastic waste and their names, quantities and sizes of fragments have been identified. The differences in the levels of macroplastic accumulation in fishing areas are discussed. The results of the study can contribute to the development of effective measures to reduce pollution of aquatic ecosystems.

Keywords: plastic waste; coastal zone; recreational fishing; types of polymers

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-161-164

В настоящее время угроза загрязнения окружающей среды пластиком признается все более значимой, что связано с необратимыми последствиями воздействия на среду обитания в наземных и водных экосистемах [1]. Одним из источников загрязнения прибрежных зон морских и пресноводных аквальных систем является рыболовство [2; 3; 4]. Рыболовные снасти (лески, тралы, пакеты и ящики, буи и др.), изготовленные из пластика, потерянные и/или выброшенные в процессе рыбалки, представляют угрозу для живых организмов [3]. По данным [5], на долю рыболовных снастей приходится 10 % отходов пластика, плавающего на поверхности океана.

Для пресноводных водоемов важным представляется изучение влияния любительской рыбалки, которая осуществляется с помощью удочки и спиннинга с берега. В Беларуси большое количество рек, озер и водохранилищ способствуют развитию данного вида рекреации. Между тем изученность данного вида воздействия на состояние прибрежных зон водоемов и водотоков пока недостаточна.

Цель работы – выбор и апробация методических подходов к оценке загрязнения прибрежных зон макропластиком и получение представления о его количестве и составе отходов. Под макропластиком в работе понимались фрагменты пластика размером более 5 мм.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования выбраны отдельные участки прибрежных зон на водоемах и водотоках г. Минска, в местах, где осуществляется любительская рыбалка. Общая характеристика обследованных объектов и участков любительской рыбалки приведена в таблице ниже. Полевые работы проводились в теплый период 2023 и 2024 гг.

Общая характеристика обследованных объектов и участков любительской рыбалки

Название объекта	Дата	Местоположение участка обследования	Тип обследованного участка	Характеристика участков
вдхр. Дрозды	16.06.2023	Левый берег, в 100 м от плотины	Два рыболовных места (10х3 м)	Выход к воде расчищен от кустарников и прибрежной растительности. По берегу много рыбачьих мест; практически все – с кострищами
р. Свислочь	16.06.2023	Левый берег р. Свислочь ниже плотины вдхр. Дрозды	Одно рыболовное место (7х2 м)	Высокий берег, местами закустаренный, с высокой травянистой растительностью. Сильно замусорен; кострище
Слепянская водная система	09.04.2024; 10.04.2024 30.04.2024 27.05.2024 07.06.2024 15.06.2024	Участок вдоль ул. Филимонова в границах ул. Ф. Скорины и ул. Парникавая	Береговая линия общей протяженностью прим. 1860м	Часть водной системы, которая используется как парковая зона с множеством пешеходных дорожек. Береговая линия забетонирована. Треть бетонного покрытия обрушена.
вдхр. Цнянское	15.06.2023 29.09.2023 06.06.2024 10.09.2024	ЮЗ участок пляжа №1, правый берег протоки	Береговая зона прим. 490 м	Высокий бетонированный берег у каскада. Повсеместно травяной покров. На пляже установлены лежаки и скамейки. Рыбаки сидят непосредственно на берегу
вдхр. Чижовское	31.05.2023 11.04.2024 26.06.2024	Южный участок береговой линии вдоль ул. Корзюки	Два рыболовных места (2х2 м и 5х1,5 м); береговая линия длиной около 250 м	Близко у береговой линии крутой склон. Древесно-кустарниковая растительность. Вдоль берега узкая пешеходная тропа с множеством рыболовных мест, в том числе специально оборудованных скамейками. Сконструированы рыболовные мостики из поддонов и пластиковых бутылок.

Использовалось два метода учета отходов пластика: маршрутный и метод площадок. Маршрутный метод использовался для оценки ситуации вдоль выбранной прибрежной зоны в случае расположения рыбаков практически в любом месте. Данный метод применялся при обследовании участков Слепянской водной системы и Цнянского вдхр. При маршрутном методе учитывался пластик, визуально диагностируемый по ходу движения с примерной шириной

охвата местности около 3 м. Данный метод прост и доступен, что делает его широко применяемым для оценки загрязнения; он широко используется в различных странах [6].

Метод площадок использовался для учета пластиковых отходов в местах рыбалки, визуально диагностируемых на местности. Размеры площадок определялись размерами зоны скошенного тростника для доступа к открытой воде, наличием специальных сооружений для доступа к воде и других факторов. Этот метод позволял более детально исследовать рыболовные места для обнаружения мелких рыболовных снастей.

Для учета отходов пластика приняты во внимание классификации, представленные в руководствах [7, 8, 9]. Учитывались отходы пластика с их дифференциацией по наименованию изделий, их размеру и целостности. Особое внимание уделялось выделению отходов, связанных с рыболовной деятельностью. Приняты следующие размеры отходов пластика: менее 1 см, 1-2 см, 2-5 см, 5-10 см и более 10 см. В последнюю категорию отходов попадали фрагменты полиэтиленовой пленки, полиэтиленовые пакеты, бутылки. Тип полимера определялся при камеральной обработке данных с учетом назначения изделий и применяемых для их изготовления полимеров.

Результаты и обсуждение. Выполненные исследования показали, что в местах любительской рыбалки прибрежные зоны загрязнены макропластиком, количество которого оценивается в диапазоне от 0,03 ед./м^2 до 13,3 ед./м^2. Для Цнянского вдхр. концентрация пластиковых отходов составляет от 0,03 ед./м^2 до 0,08 ед./м^2. На Чижовском вдхр. наблюдаются более высокие показатели загрязненности, где минимальное значение составляет 1,08 ед./м^2, а максимальное – 13,33 ед./м^2. На участке Слепянской водной системе концентрация пластиковых отходов находится в диапазоне от 0,14 ед./м^2 до 0,24 ед./м^2. Выявлено, что наибольшее количество отходов пластика обнаруживается в местах с заболоченными и/или закустаренными берегами, которые используются в качестве рыболовных мест.

Среди отходов пластика выявлены лески, сети, пластиковые поплавки, крючки и приманки. На долю таких отходов приходится около 20 % общего их количества. За исключением специализированных рыболовных отходов, основной вклад в загрязнение вносится оставленный бытовой мусор: пластиковая посуда, бутылки, крышки, пищевые контейнеры, фасовочные и пакеты-майки, упаковки от продуктов питания. Общее число отходов, отнесенных в категорию бытовых, достигает 3826 единиц, что составляет 65 % от общего объема обнаруженных отходов. К отходам из категории табачные относится 885 единиц, что эквивалентно 15 % от общего количества обнаруженных отходов.

Таким образом, влияние рыбаков на загрязнение прибрежных зон водоемов является значительным и требует комплексного подхода для его минимизации. Внедрение эффективных мер по утилизации отходов, повышение уровня экологической осведомленности и развитие безопасных альтернативных материалов помогут снизить негативные последствия рыболовной деятельности для окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. The global threat from plastic pollution / M. MacLeod [et al.] // Science. 2021. Vol. 373. P. 61-65.
2. *Daniel D. B., Thomas S. N., Thomson K. T.* Assessment of fishing-related plastic debris along the beaches in Kerala Coast, India // Marine Pollution Bulletin. 2020. Vol. 150. Art. 110696. doi 10.1016/j.marpolbul.2019.110696.
3. Source, fate and management of recreational fishing marine debris / A. Watson [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2022. Vol. 178. Art. 113500. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113500
4. Методические подходы к изучению загрязнения почв пластиком и микропластиком / Т. И. Кухарчик [и др]. // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 4.

5. Почвенные и геохимические исследования. Геоинформационные технологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2024. С.164-168. doi: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/310906/1/Bel.Geo.Congress.4.pdf

6. An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter / C. Morales-Caselles [et al.] // Nat. Sustain. 2021. Vol. 4, P. 484–493. doi: 10.1038/s41893-021-00720-8

7. Riverbank macrolitter in the Dutch Rhine–Meuse delta / T. van Emmerik [et al.] // Environmental Research Letters. 2020. Vol. 15(10). Art. 104087. doi: https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb2c6

8. United Nations Environment Programme. Monitoring Plastics in Rivers and Lakes: Guidelines for the Harmonization of Methodologies. Nairobi. 2020.

9. *van Emmerik T. H. M., Vriend P., Roebroek C. T. J.* An evaluation of the River-OSPAR method for quantifying macrolitter on Dutch riverbanks. Wageningen, Wageningen University, Report. 2020. P.86. doi: https://doi.org/10.18174/519776.

10. *Lippiatt S., Opfer S., Arthur C.* Marine Debris Monitoring and Assessment. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-46 Report. 2013.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАНОЛИНА С РАЗЛИЧНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ТРИПТОФАНА НА АПИКАЛЬНУЮ МЕРИСТЕМУ РАСТЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ

И. В. Налетов[1)], **К. А. Бойко**[1)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*
k.boiko@unitsky.com

В статье исследуется влияние триптофана на рост и развитие плодовых и декоративных растений. Эксперимент проводился с использованием различных концентраций триптофана, смешанного с ланолином, для стимуляции верхушечной апикальной меристемы. Результаты подтверждают гипотезу о положительном влиянии триптофана на рост растений и его потенциал для применения в агрономии, особенно для улучшения устойчивости растений к стрессам и повышения урожайности.

Ключевые слова: ауксины; генетика растений; синтез ауксина; декоративное садоводство; производство саженцев.

APPLICATION OF LANOLIN WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF TRYPTOPHAN ON PLANT APICAL MERISTEM IN PERENNIAL CROPS

I. V. Naletov[1)], **K. A. Boiko**[1)]

[1)] *Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus*
k.boiko@unitsky.com

The article examines the effect of tryptophan on the growth and development of fruit and ornamental plants. The experiment was conducted using different concentrations of tryptophan mixed with lanolin to stimulate apical meristem. The results support the hypothesis of the positive effect of tryptophan on plant growth and its potential for use in agronomy, especially for enhancing plant resistance to stress and increasing yields.

Keywords: auxins; plant genetics; auxin synthesis; ornamental horticulture; seedling production.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-165-168

Выращивание сельскохозяйственной продукции требует новых подходов к агротехнике. Высоких результатов в производстве фруктово-ягодной и декоративной продукции можно достигнуть с помощью увеличения минерального питания растений, изменения спектра освещения на разных стадиях развития растений, стимулирования роста вегетационных почек и т. д.

Одним из способов формирования ветвей у плодовых и декоративных растений является точечное стимулирование роста верхушечной апикальной меристемы. В частности, стимулирование верхушечной почки происходит естественно, путем концентрации ауксиновых гормонов. Однако такое формирование способствует развитию сразу всех пазушных почек, особенно тех, которые наиболее ближе к верхушке.

Синтез ауксинов у растений делится на два основных пути: триптофан-зависимые и триптофан-независимые. Триптофан-зависимый путь включает в себя около 5-6 различных, один из них хорошо изученный путь iaaM/iaaH. В большей степени он изучен на патогенных бактериях типа *Pseudomonas* и *Agrobacterium*. IaaM-ген кодирует триптофан-2-монооксигеназу, что приводит к катализу триптофана в индол-3-ацетамид, после чего проходит гидролиз с освобождением индол-3-уксусной кислоты, или ауксина (ИУК) [1; 2].

У растений-мутантов, полностью лишённых синтеза ауксинов (YUCCA; SUR1, SUR2; CYP79B2 и CYP83B2, CYP83A1), гены SUR1 и SUR2 не участвуют в биосинтезе ауксина напря-

мую. Однако мутации в этих генах приводят к переходу индол-3-ацетальдоксима присутствующего в биосинтезе глюкозинолата участвующего в синтезе ауксина растениями. Индол-3-ацетальдоксим синтезируется из триптофана с участием цитохром-Р450-монооксигеназ (гены CYP79B2/B3), которые сами по себе не являются критически важными в развитии растения [2].

На схеме можно расположены известные пути биосинтеза ауксина в растениях (рис.1), однако данный путь представлен не у всех высших растений (присутствует у семейства паслёновых, но отсутствует у бобовых) [1; 3].

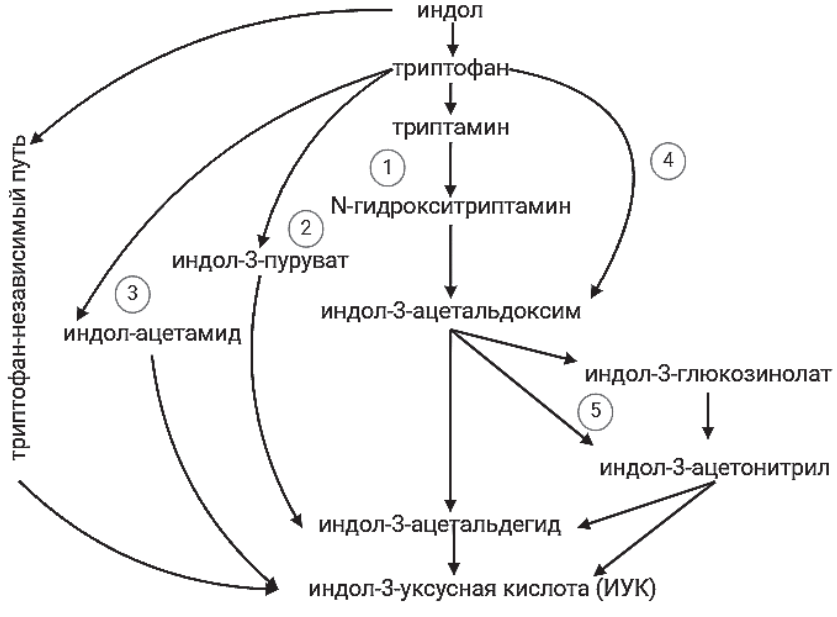


Рис. 1. Основной путь синтеза ауксинов у растений: 1 – триптаминовый путь; 2 – индол-пируватный путь; 3 – индол-ацетамидный путь; 4 – индол-ацетальдоксимовый путь; 5 – индол-глюкозинолатный путь [1; 2]

Гены, такие как YUCCA – *Arabidopsis thaliana* L., FZY– *Petunia* × *hybrida* (Hook.) Vilm., ToFZY2 – *Lycopersicon esculentum* Mill., способствуют синтезу ферментов. Из N-гидрокситриптамина синтезируется индол-3-ацетальдегид и с этой точки можно синтезировать несколько путей индол-глюкозинолатный затем в индол-3-ацетальдоксим-нитроксид переходящий в форму индол-3-ацетальдегид который в свою очередь трансформируется в индол-3-уксусную кислоту (ИУК) [2; 3; 4]

Таким образом стимулирование триптофаном верхушки меристем растений приводит к образованию большего числа молекул ИУК, что в свою очередь стимулирует рост растений в нужных направлениях.

Для проведения исследования триптофан (чистота 99 %) смешивают с ланолином в следующих пропорциях: 0,1 г; 0,05 г; 0,001 г. После введения триптофана проводится гомогенизация, и полученная смесь наносится на целевую почку с целью стимуляции роста.

Растения помещались в горшки объемом 2 л с добавлением универсального почвогрунта Terra Vita (pH 6,0-6,5; N – не менее 150 мг/л; P – не менее 270 мг/л; K – не менее 300 мг/л). Схема опыта: растение контроля и растения с применением различных концентраций в 5 кратном повторении. Объекты исследования: инжир обыкновенный (*Ficus carica* L.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.), папайя (*Carica papaya* L.), слива домашняя (*Prunus domestica* L.), яблоня домашняя (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.).

В ходе эксперимента было установлено, что концентрация триптофана в дозе 0,001 г наиболее благоприятно способствовала формированию устойчивого побега растений, при этом

на всех вариантах растений верхушечное доминирование превалировало при нанесении препарата, однако более высокие дозы провоцировали образование каллусу у растений или вовсе гибель вегетативных почек.

Морфо-биологические замеры растений после нанесения препарата

Наименование растения	Длинна побега после, см	Среднесуточный прирост побега, см/сутки	Площадь листовой пластины, см^2	Длинна междоузлия, см
Инжир обыкновенный (*Ficus carica* L.) (120 дней вегетации)				
Контроль	43,6	0,36	360,7	1,6
Препарат с триптофаном 0,001 г/л	109,4	0,91	361,1	8,4
Клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.) (120 дней вегетации)				
Контроль	126,5	1,05	1,27	1,2
Препарат с триптофаном 0,001 г/л	181,6	1,51	1,24	1,8
Папайя (*Carica papaya* L.) (120 дней вегетации)				
Контроль	259,3	1,30	273,6	0,23
Препарат с триптофаном 0,001 г/л	350,7	1,75	284,1	0,29
Слива домашняя (*Prunus domestica* L.) (200 дней вегетации)				
Контроль	228,1	1,14	18,2	5,9
Препарат с триптофаном 0,001 г на 1 л	317,3	1,59	19,6	7,1
Яблоня домашняя (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.) (200 дней вегетации)				
Контроль	183,0	0,95	17,4	6,9
Препарат с триптофаном 0,001 г/л	210,7	1,05	17,8	9,2

Применение препарата с триптофаном привело к значительному увеличению длины побега у всех исследуемых растений. Например, у инжира обыкновенного (рис.2) длина побега увеличилась в 2,5 раза по сравнению с контролем. Аналогичные результаты были получены и для других растений, таких как папайя и слива, где длина побега возросла на 35 % и 39 % соответственно. Это свидетельствует о том, что использование триптофана стимулирует рост побегов, что связано с его функцией как предшественника для синтеза ауксинов, гормонов, отвечающих за клеточное деление и удлинение.

Рис. 2. Фото растений инжира обыкновенного из эксперимента по влиянию мази с концентрацией триптофана

Среднесуточный прирост побега также значительно увеличился при использовании препарата. Например, у клюквы болотной прирост в 1,4 раза выше, чем у контроля Увеличение среднесуточного прироста побега связано с улучшением фотосинтетической активности, о чем свидетельствуют показатели пигментации листьев, оттоки ассимиляционных веществ (сахара) и активность фитогормонов, всё это повышает уровень ауксинов.

Площадь листовой пластины осталась на схожем уровне и незначительно увеличивалась по сравнению с контрольными растениями.

О наличии энергии у растений и активного синтеза ауксиновых гормонов, дополнительно свидетельствует тот факт, что длина междоузлий увеличилась у инжира, сливы и яблони. Это может указывать на более выраженную ответную реакцию организма растений на препарат. Растения папайи и клюквы особо не отличались длинной междоузлий это связано с особенностью морфологией развития растений.

В целом, результаты эксперимента подтверждают гипотезу о положительном влиянии триптофана на рост и развитие растений. Применение данного препарата может быть рекомендовано для использования в сельском хозяйстве и садоводстве, особенно в условиях, когда необходимо стимулировать рост растений, улучшать их устойчивость к стрессам и повышать урожайность.

Таким образом, дальнейшие исследования будут направлены на изучение механизмов действия триптофана на молекулярном уровне, а также на его влияние на другие физиологические процессы в растениях, что позволит более глубоко понять его роль в агрономии для производства саженцев и контролируемого ветвления растений.

Библиографические ссылки

1. *Comai L., Kosuge T.* Cloning characterization of iaaM, a virulence determinant of Pseudomonas savastanoi // Journal of Bacteriology. 1982. Vol. 149. P. 40–46.

2. *Lau S., Jurgens G., De Smet I*. The evolving complexity of the auxin pathway // Plant Cell. 2008. Vol. 20. P. 1738–1746.

3. A role for flavin monooxygenase-like enzymes in auxin biosynthesis / Zhao Y. [et al.] // Science. 2001. Vol. 291. P. 306–309.

4. *Налетов И. В., Заяц В. С.* Каллусогенез как альтернативный способ получения биологически активных веществ в замкнутой экосистеме // Сборник материалов V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты». Минск, 2022. №. 1. С. 96-99.

5. *Налетов И. В., Заяц В. С.* Исследование и отбор исходного материала амаранта овощного (Amaranthus Hypochondriacus l.) на пищевую ценность // Селекция и генетика: инновации и перспективы: материалы III Междунар. науч-конф., Горки, 25 сент. 2023 г./ редкол: Витко Г.И. Горки, 2023. С. 60.

6. Хозяйственно-биологическая характеристика нового сорта яровой твердой пшеницы катюша / Дуктова Н. А. [и др.] // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий. 2020. С. 91-97.

СИМБИОЗ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И РАСТЕНИЙ САЛАТА ЛИСТОВОГО (*LACTUCA SATIVA* L.)

И. В. Налетов[1)], **В. С. Заяц**[2)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*
i.naletov@unitsky.com
[2)] *ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*
v.zayats@unitsky.com

Полноценная, функционирующая почва обеспечивает круговорот питательных веществ для оптимального роста растений в сельскохозяйственном производстве. Однако производительность сельского хозяйства часто ограничена доступными питательными веществами почвы, особенно азотом. В данной статье исследуется рост растений салат листового на обеднённом субстрате (песок), проводится гистологический анализ корневой системы. Описаны морфологические особенности обнаруженных клубеньковых образований.

Ключевые слова: салат листовой; симбиоз; азотфиксация; клубеньки.

SYMBIOSIS BETWEEN NITROGEN-FIXING BACTERIA AND LEAF LETTUCE PLANTS (*LACTUCA SATIVA* L.)

I. V. Naletov[1)], **V. S. Zayats**[2)]

[1)] *Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus*
i.naletov@unitsky.com
[2)] *Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus*
v.zayats@unitsky.com

A fully functioning soil provides nutrient cycling for optimal plant growth in agricultural production. However, agricultural productivity is often limited by availability of soil nutrients, especially nitrogen. In this paper, the growth of leaf lettuce plants on a depleted substrate (sand) is investigated, and the root system is histologically analyzed. The morphological features of the detected nodule formations are described.

Keywords: leaf lettuce; symbiosis; nitrogen fixation; nodules.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-169-172

В агроэкосистемах азот является одним из основных питательных веществ, ограничивающих рост растений. Для удовлетворения растущего спроса на азот в сельском хозяйстве во второй половине двадцатого века широко использовались синтетические удобрения, что привело к таким экологическим проблемам, как загрязнение окружающей среды нитратами. Биологическая фиксация азота в растениях является важным механизмом для устойчивого сельскохозяйственного производства и здорового функционирования экосистем. Фиксация азота у бобовых, а также ассоциативная, эндосимбиотическая и эндофитная фиксация азота у небобовых играют важную роль в сокращении использования синтетических азотных удобрений в сельском хозяйстве, повышении содержания питательных веществ в растениях и оздоровлении почв. Поэтому взаимодействия бактерий с эукариотами представляет собой большой общебиологический и агрономический интерес, поскольку данные микроорганизмы часто демонстрируют свойства, повышающие жизнеспособность растений, путём минерализации компонентов почвы для растений, а некоторые из них способны фиксации атмосферного азота [1].

Эволюционно азотфиксирующие бактерии вступают взаимодействие с корнями растений, стимулируют формирование «наростов» корней – клубеньков. Эффект образования клубеньков широко рассмотрен у растений семейства бобовых (Fabaceae) и семейства Берёзовых (Betulaceae) – у представителей рода Ольхи (Alnus sp.) [2].

Так, у растений в момент соприкосновения ризодермы корней с бактериями рода *Rhizobium sp.* через плазмолемму клетки растений происходит проникновение нодуляционный белка Nop L и продуктов Avr-генов, которые в свою очередь вступают в процесс конъюгированы с NB-LRR – продуктом R-генов растения и вызывают комплексный ответ иммунной системы растения. Кроме того, бактерии рода *Rhizobium sp.* способны к образованию клубеньков посредствам выделения ризобиальных липополисахаридов, которые в свою очередь стимулируют образование ризобиальных Nod-факторов и молекулярных микробных паттернов (MAMPs). Они в свою очередь связываются с межмембранными белками PRR и RLK (NFP/NFR) – растительные рецепторы подобные киназам. Подобные реакции стимулируют клетки растений вырабатывать неспецифическую иммунную систему растений, связанную с MAMPs белками, что и провацирует образование клубенька на корневой зоне растения [3]. Различают два основных типа стеблевые и корневые, первые в свою очередь делят на округлые и овальные [3; 4].

Само проникновение бактерий и инфицирование ими корней происходит эволюционно установленным способом, через межклеточное вещество либо через клетки. Оба способа свойственны одним и тем же бактериям и зависит только от растения хозяина (рис 1.).

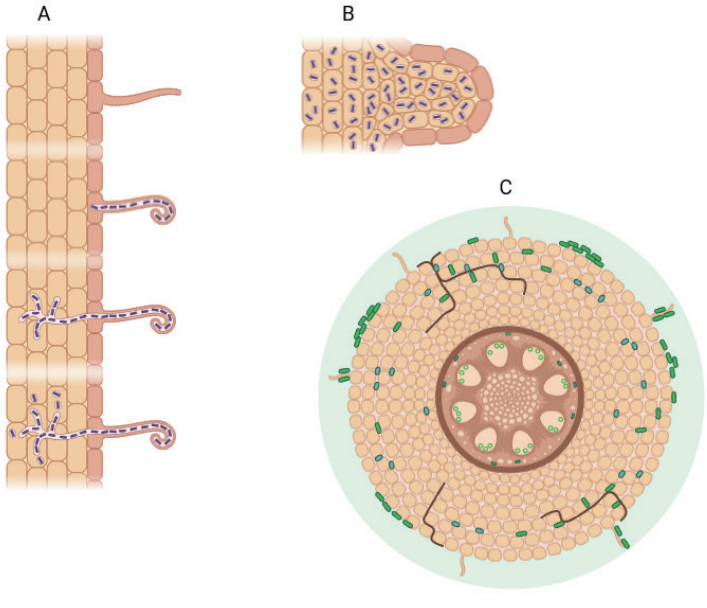


Рис. 1. Разнообразие проникновения и инфицирование корней растений азотфиксирующими бактериями:
a, c – проникновение бактерий через межклеточное пространство начиная с ризойда;
b – проникновение бактерий в корень через клетки эпидермиса и основной паренхимы [3]

В основном азотфиксирующие клубеньковые бактерии встречаются у растений семейства Бобовые/Мотыльковые (Fabaceae), однако клубеньки встречаются и у других растений. Для определения взаимодействия растений с азотфиксирущими бактериями устанавливают наличие гена rbcL, который отвечает за симбиотическое взаимодействие.

Нами были зафиксированы азотофиксирующие бактерии в корнях растений салата-латук (*Lactuca sativa* L.) относящегося к семейству Сложноцветные/астровые (Asteraceae) в ходе постановки опыта по влиянию комплексной подкормки для растений uTerra на салат-латук в условиях отсутствия минерального питания на чистом песке. Постановка опыта включала в себя

варианты контроль (песок без добавления подкормки) и варианты роста растений на песке с добавление различных концентраций uTerra. Комплексная подкормка для растений uTerra по составу представляет собой комплекс гуминовых кислот, вытяжки из биогумуса, а также ассоциации агрономически ценных видом микроорганизмов, включая азотфиксаторов и фосфатсолюбилизаторов.

Так как растения находились в условиях низкого минерального питания, оценивалась не урожайность растений, а способность к адаптации. Так фиксировался пигментных состав листовой пластины, а также морфология корневой системы. Листовая пластина растений с клубеньками обладали высоким содержанием каротиноидов (226,38 ± 13,74 мкг/г сырой массы) по сравнению с растениями контроля (128,11 ± 1,98 мкг/г сырой массы). Содержание хлорофилла a+b составило 4,49±0,18 мг/г сырой массы в вариантах с клубеньками, в контроле – 4,01±0,10 мг/г сырой массы. Повышение содержания основных пигментов в листьях может говорить об усиленной адаптации растений к стрессовым факторам, в данном случае – дефициту питания.

При аналитическом исследовании растений на стадии пяти настоящих листочков на корнях были обнаружены предварительно классифицированные как каллусные ткани (рис. 2). Растения внешне были здоровы, без бактериальных или грибковых заболеваний.

Рис. 2. Визуальный вид клубеньков на корнях растений салата-латук *Lactuca sativa* L.

В ходе эксперимента были выделены клубеньки у растений салата-латука (*Lactuca sativa* L.), из которых был приготовлен давленный препарат с окрашиванием проводящих тканей. Установлено, что клубеньки действительно содержат азотфиксирующие бактерии, которые поддерживают повышенную активность оксидазы. Наличие этого фермента указывает на активное участие в процессе фиксации азота, что является ключевым аспектом симбиотических связей между растениями и их микробными симбионтами. Окрашивание бактерий в паренхиме также подтвердило наличие симбиоза в клубеньках (рис.3).

Кроме того, в проводящих пучках, которые были исследованы, не обнаружено повреждений, в них и сохранена чёткая направленность ксилемы и флоэмы. Это наблюдение свидетельствует о том, что структура тканей в клубеньках остается целостной и функциональной, что важно для эффективного обмена веществ между растениями и бактериями. Неповрежденные

проводящие ткани обеспечивают надлежащее содержание питательных веществ и воды, что способствует развитию как растений, так и его симбионтов.

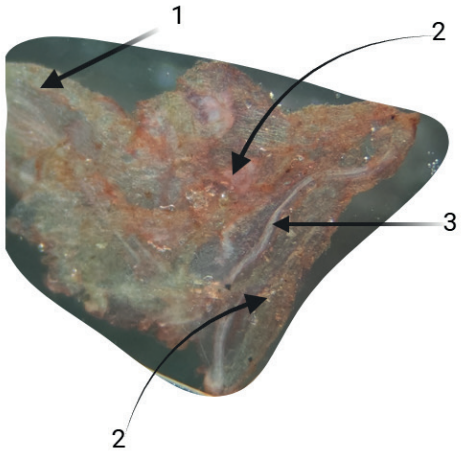


Рис. 3. Ткани клубенька салат-латука *Lactuca sativa L.*
(1 – основный корень, корневой чехлик с зоной деления и роста; 2 – паренхимная ткань с азотфиксирующими бактериями; 3 – сердцевина корня с проводящими тканями)

В дальнейших исследованиях выделенные бактерии из растений будут перенесены на корневую систему салата и сами растения будут помещены в субстрат с оптимальным минеральным питанием, но без азота, который предположительно будет синтезироваться бактериями-симбионтами, содержащимися в клубеньках на корнях.

Результаты проведённого исследования позволят более детально изучать взаимодействие между салатом листовым и азотфиксирующими бактериями, а также оценивать влияние этих симбиотических связей на рост и развитие растений. Полученные данные могут быть полезными для дальнейших исследований эффективности использования симбиотических бактерий в сельском хозяйстве и агрономии, что обеспечивает постоянство урожайности и устойчивости культур.

Библиографические ссылки

1. *Проворов Н. А., Воробьёв Н. И.* Эволюция полезных для растений признаков у азотфиксирующих бактерий: моделирование и конструирование систем межвидового альтруизма (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2015. Т. 51, №. 4. С. 363-363.

2. Оценка разнообразия азотфиксирующих бактерий в ризосфере растений сои методом анализа nifH гена / А. К. Кизилова [и др.] // Микробиология. 2012. Т. 81, №. 5. С. 672-672.

3. *Проворов Н. А.* Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70, №. 1. С. 10-34.

4. *Глянько А. К., Ищенко А. А.* Иммунитет бобового растения, инфицированного клубеньковыми бактериями Rhizobium spp. F. (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53, №. 2. С. 136-145.

5. *Налетов И. В., Заяц В. С., Крюков Е. А.* Индукция устойчивости растений Lactuca sativa L. к засолению под влиянием грибного экзогенного элиситора // Вестник БГСХА. №3. С.147-150.

МЕРЫ ПО АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

И. П. Наркевич [1)], **Я. М. Макей** [1)]

[1)] *Учреждение образования«Международный государственный экологический институт А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская 23/1, 220070 г. Минск, Беларусь, ivan.narkevitch@mail.ru*

Под изменением климата понимают долгосрочные изменения температуры и погодных условий, вызванные деятельностью человека и природным факторами. Биологическое разнообразие – это разнообразие жизни на Земле во всех ее формах – от генов и бактерий до целых экосистем, таких как леса или коралловые рифы.

Изменение климата и потеря биоразнообразия являются неразделимыми угрозами для всего человечества и должны устраняться комплексно. Повышение температуры и изменение режима выпадения осадков напрямую влияют на среду обитания многих видов, вынуждая этим адаптироваться и может привести к угрозе их вымирания.

Адаптация – механизмы естественных или антропогенных систем в ответ на фактическое или ожидаемое воздействие климата или его последствий, которое позволяет снизить вред или использовать благоприятные возможности.

Ключевые слова: изменение климата; биоразнообразие; адаптация.

CLIMATE CHANGE ADAPTATION MEASURES FOR BIODIVERSITY CONSERVATION

I. P. Narkevich [1)], **Y. M. Makei**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, ivan.narkevitch@mail.ru*

Climate change is understood as long-term changes in temperature and weather conditions caused by human activity and natural factors. Biological diversity is the diversity of life on Earth in all its forms, from genes and bacteria to entire ecosystems such as forests or coral reefs.

Climate change and loss of biodiversity are inseparable threats to all of humanity and must be addressed comprehensively. Rising temperatures and changing precipitation patterns directly affect habitats of many species, forcing them to adapt and may lead to the threat of their extinction.

Adaptation refers to the mechanisms of natural or anthropogenic systems in response to the actual or expected impact of climate or its consequences, which reduce harm or take advantage of favorable opportunities.

Keywords: climate change; biodiversity; adaptation.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-173-176

Изменения климата характеризуются отклонением от средних величин температуры, осадков, направления и силы ветра, наступлением экстремальных явлений (засухи, заморозки, сильные ветры, дожди, снегопады и т.п.). Повышение средней глобальной температуры, а также экстремальные и непредсказуемые погодные условия являются наиболее распространенными проявлениями изменения климата. В настоящее время это приобрело значение глобальной чрезвычайной ситуации [1].

Антропогенное воздействие – совокупность всех видов человеческой деятельности, в той или иной мере влияющих на изменения природной среды. Наиболее существенными факто-

рами антропогенного воздействия на климат, связанными в основном с развитием энергетики, промышленности, сельского хозяйства и других отраслей [2].

К парниковым газам (ПГ) относится небольшая группа, которая в некоторой степени влияет на климатические постоянные атмосферы: двуокись углерода, метан и закись азота [3]. Эффект нагревания, вызванный поглощением и повторным испусканием ИК-излучения парниковыми газами, принято называть парниковым эффектом. На рисунке 1 представлена динамика выбросов парниковых газов в мире по годам.

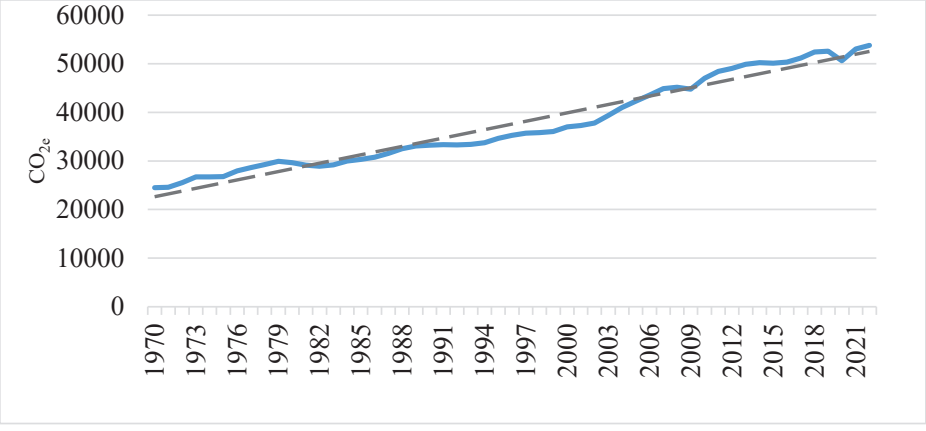


Рис. 1 –Динамика выбросов парниковых газов 1970-2021

Территориальные выбросы парниковых газов на душу населения различаются в зависимости от страны. Расхождение в выбросах парниковых газов напрямую зависит от потребления и степени развития страны. Сектор энергетики является доминирующим источником выбросов парниковых газов, на долю которого в настоящее время приходится 86 процентов глобальных выбросов CO2. Нефть, газ и уголь, добытые в течение срока службы добывающих и строящихся шахт и месторождений по состоянию на 2018 год, более чем в 3,5 раза превышают углеродный бюджет, согласно данным международной статистики. На рисунке 2 представлен текущий и исторический вклад в изменения климата, исходя из этих данных можно сказать, что наибольший вклад в глобальное потепление климата вносят «Группа двадцати», Китай, США [4].

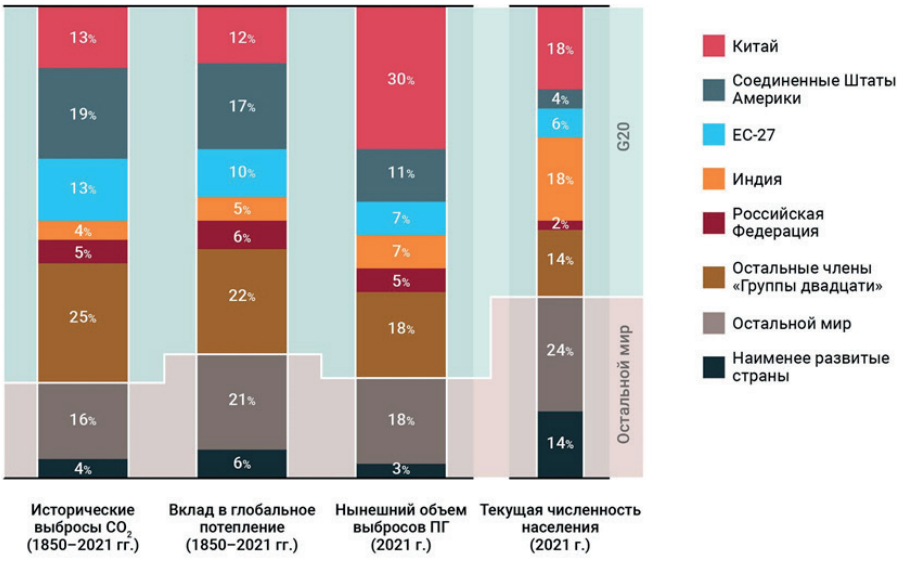


Рис. 2 – Текущий и исторический вклад в изменение климата
(доля в процентах по странам или регионам)

В 1990г. Генеральная Ассамблея ООН учредила г. Международную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК) для проведения переговоров по Рамочной Конвенции ООН об изменение климата (РКИК ООН). Разработанная конвенция была открыта для подписания на конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в июне 1992. Приложения Конференции предусматривают выполнения странами ряда обязательств. На Конференции Сторон Рамочной Конвенции ООН об изменении климата был принят Киотский протокол к РКИК, который зафиксировал определенные количественные обязательства по сокращению выбросов парниковых газов для промышленного развития стран и стран с переходной экономикой [5].

Изменение климата непосредственно влияет на биоразнообразие. Оно проявляется в расширение ареалов обитания видов, изменения в составе видов и их взаимодействии (адаптация); изменения в доступности ресурсов; распространение болезней на новые ареалы; влияет на рост и поведение организмов; и изменения в устойчивости экосистем.

Говоря об адаптации к изменениям климата, необходимо учитывать не только повышение температуры и изменение осадков, но, прежде всего, опасные гидрометеорологические явления, минимизировать их последствия. Согласно мировой статистике наибольший ущерб ежегодно наносят не экстремально высокие температуры или таяние вечной мерзлоты, а наводнения, тайфуны и засухи. Меры по адаптации к изменению климата, включая снижение ущерба от опасных гидрометеорологических явлений, во всем мире хорошо ложатся в комплексные действия, такие как стратегическая экологическая оценка для крупных бассейнов рек или регионов, комплексное управление морским природопользованием, климатические планы регионов и т.д.

В сельском хозяйстве биоразнообразие играет важную роль за счет опылителей, также разнообразие видов помогает в регулировке популяций вредителей, кроме того разнообразие растений может способствовать улучшению структуры почвы.

Меры по адаптации в сельском хозяйстве заключаются в усиление комплекса мероприятий, направленных на охрану территории от завоза и распространения карантинных для стран вредителей, возбудителей болезней и сорняков, в замене традиционных пестицидов новыми средствами защиты растений, в модернизации и оптимизации системы мелиорации земель с учетом долгосрочных тенденций изменения климата и приоритетов водопользования, в организации оперативного оповещения населения и местных властей об опасности наводнений с использованием современных информационных технологий, в восстановление земель, нарушенных в результате мелиорации [8].

Важную роль в снижении глобальных выбросов ПГ играют леса. Влияние климата на лесные насаждения происходит через изменение уровня грунтовых вод, лесные пожары, ветровалы и буреломы, размножение насекомых-вредителей. Это ведет к изменению породного состава и структуры лесов. Повышение температуры приводит к тому, что вегетация растений начинается гораздо раньше, и поэтому растет вероятность повреждения заморозками деревьев, которые начали рост [6].

Основные меры по адаптации леса можно отнести: совершенствование правовой и нормативной базы с учетом вопросов адаптации лесного хозяйства к изменению климата; совершенствование системы мониторинга состояния лесов с проведением контроля за процессами, вызванными влиянием изменений климата; увеличения объема создания архивов клонов плюсовых деревьев от выделенных деревьев, увеличения доли семян лесных растений, заготовленных на объектах постоянной лесосеменной базы, созданных методом популяционного отбора [7].

Особое место для биоразнообразия занимают водные ресурсы, а именно реки, озера, болота, моря и океаны, которые являются средой обитания большого числа видов и источником питания.

К мерам по адаптации водных ресурсам относятся: повышение энергоэффективности, учет потребления воды, использование нетрадиционных водных ресурсов, сохранение и защита водоносных горизонтов, реабилитация водно-болотных систем, управление рисками водных ресурсов, контроль и управление трансграничными водными ресурсами, проведение монито-

ринговых наблюдений для выявления своевременного вредного воздействия на водные экосистемы, улучшение технологий в области водных ресурсов, предотвращение сброса и очистки мест от отходов территорий подверженных наводнениям, расширение охранных зон, разработка мер по поддержанию дамб [9].

Также к мерам по адаптации к изменениям климата биоразнообразия можно отнести: проведение оценки риска исчезновения, размеров популяций и тенденций в популяциях, распространения, угроз и природоохранного потенциала видов, за счет регулярных мониторинговых наблюдений. Разработка целевых программ восстановления для всех видов, которые нуждаются в сохранении на международном, региональном или локальном уровнях. Обеспечение экологической связности, включая обеспечение возможности перемещения видов в масштабах наземных, пресноводных и морских ландшафтов; сохранение всех нетронутых участков природных мест обитания, а также восстановление экосистем – в том числе в рамках концепции «возрождения дикой природы», включая укрепление (пополнение) имеющихся популяций и реинтродукцию составляющих их видов. Обеспечение целесообразного и устойчивого использования видов; совершенствование исследований, управления данными и их анализа в сфере сохранения видов, с тем чтобы их результаты могли быть применены при разработке и осуществлении политики на всех уровнях; доведение до всеобщего сведения ценности видов и важности их сохранения и устойчивого использования.

Создание новых технологий для сохранения биоразнообразия путем создания новых видов растений и животных или мер по их адаптации к изменяющемуся климату.

При значительной неопределенности будущих изменений климата адаптация является процессом, а не разовым набором мероприятий. Через некоторый период времени вызовы и возможности для адаптации будут отличаться от теперешних. Если говорить о масштабах планеты и о возможностях саморегуляции глобальной климатической системы, то адаптация во всех сферах деятельности должна позволить увеличить время мировой экономике и перестроиться на низкоуглеродный путь развития.

Библиографические ссылки

1. *Shivanna K. R.* Climate change and its impact on biodiversity and human welfare Proceedings of the Indian National Science Academy (2022) 88:160–171 https://doi.org/10.1007/s43538-022-00073-6

2. *Логинов, В. Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск : ТетраСистемс, 2008. 496 с.

3. *Карлович, И. А., Петрова Е. В.* Природа парниковых газов и кислотных дождей : учеб. Пособие // Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Владимир : Изд-во ВлГУ, 2023. 120 с. ISBN 978-5-9984-1553-1.

4. Доклад о разрыве в уровне выбросов за 2023 год [Электронный ресурс]. Режим доступа https://www.unep.org/interactives/emissions-gap-report/2023/. Дата доступа 21.02.2025.

5. Изменение климата [Электронный ресурс]. Режим доступа https://www.un.org/ru/global-issues/climate-change/. (дата обращения 21.02.2025).

6. *Липка О. Н., А. О. Кокорин* Адаптация к изменениям климата для сохранения биоразнообразия № 1 № 1С. 54-60(Климатические ресурсы) Библиогр.: 60 с.

7. Стратегия адаптации лесного хозяйства Беларуси к изменению климата до 2050 года одобрено Протокол заседания научно-технического совета Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь 28.06.2019 № 4.

8. Восьмое Национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата [Электронный ресурс]. https://docs.yandex.by/docs/view?tm=1740412283&tld=by&lang=ru&name=8NC_BLR.pdf/.- (дата обращения 21.02.2025).

Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата [Электронный ресурс] https://docs.yandex.by/docs/view?tm Guidance_on_Water_and_Adaptation_to_Climate_Change_RUS.pdf/ (дата обращения 21.02.2025).

ВИДОВОЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ СКВЕРА Э. ОЖЕШКО ГОРОДА ГРОДНО

О. В. Нилова[1)], **Е. А. Мартынова**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, olga.n.1978@mail.ru*

В данной статье проведен биоморфологический анализ древесных насаждений сквера Э. Ожешко г. Гродно. Изучен видовой состав древесных растений, выделены доминирующие виды, их систематическая принадлежность. Видовая структура древесных насаждений исследуемой территории представлена 9 семействами, 15 видами деревьев и кустарников. В древесных насаждениях доминируют липа мелколистная, клен ясенелистный, каштан конский обыкновенный, среди кустарников, чаще всего встречается сирень обыкновенная. Описана экологическая структура древесных насаждений сквера.

Ключевые слова: видовой состав; семейства растений; древесные насаждения; жизненные формы; породная структура.

ANALYSIS OF SPECIES COMPOSITION AND STRUCTURE OF TREE PLANTATIONS IN URBAN ENVIRONMENT OF GRODNO

O. V. Nilova[1)], **E. A. Martynova**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olga.n.1978@mail.ru*

In this article, a biomorphological analysis of tree plantings in the E.Ozheshko park in Grodno has been carried out. The species composition of woody plants has been studied, and the dominant species and their systematic affiliation have been identified. The species structure of the tree plantings of the studied territory is represented by 9 families and 15 species of trees and shrubs. Small-leaved linden, ash-leaved maple, horse chestnut dominate in the tree stands, and common lilac is more common among the shrubs. The ecological structure of the arboreal plantings of the park is described.

Keywords: species composition; plant families; tree plantings; life forms; tree species structure.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-177-180

Базовым показателем, вносящим весомый вклад в формирование экологически благоприятной обстановки городской территории, служит озеленение. Однако в настоящее время стремительная урбанизация приводит к значительной трансформации растительности, поэтому изучение городских флор является одним из актуальных направлений [1].

Город Гродно – крупный промышленный центр Западной Беларуси, который имеет развитую сеть автомобильных и железнодорожных транспортных коммуникаций. Территория города испытывает техногенные нагрузки, поэтому вопрос организации отдыха населения стоит довольно остро. Очень важным для населения города является создание зон отдыха, их комфортность, что обеспечивают, прежде всего, зелёные насаждения.

Специфика организации существующей системы озелененных территорий г. Гродно обусловлена ландшафтно-экологическими особенностями его местоположения, историческими и социально-экономическими условиями развития, а также целенаправленными мероприятиями по благоустройству и озеленению города.

В основу работы положены результаты исследования проводимые в 2024 г. В качестве объекта исследования были привлечены древесные растения зеленых насаждений сквера

Э. Ожешко г. Гродно, предмета – видовая и экологическая структура древесных насаждений сквера.

Биоморфологический анализ древесных насаждений осуществляли согласно классификации И.Г. Серебрякова (1962). Исследования видовой структуры сквера проводили согласно методическому руководству по изучению видового состава и структуры древесно-кустарниковых парковых и лесопарковых насаждений на территории сквера Э. Ожешко г. Гродно, ограниченного улицами Э. Ожешко, Телеграфная и переулком Телеграфный [2]. Экологические свойства древесных растений описывали в зависимости от их отношения к факторам среды.

Биоморфологический анализ древесных насаждений сквера Э. Ожешко г. Гродно показал, что 81,9 % составляют деревья, 17,7 % – кустарники (рисунок 1).

Рис. 1. Биоморфы древесно-кустарниковых растений сквера Э. Ожешко

Среди деревьев доминируют лиственные породы (69,5 %), хвойные породы составляют 12,4 %. Кустарники представлены лиственными, преимущественно цветочнодекоративными породами (14,4 %), хвойные виды среди кустарников отсутствуют.

В результате обследования установлено, что видовой состав дендрофлоры сквера Э. Ожешко в г. Гродно представлен 9 семействами, 15 родами и 15 видами, наибольшее распространение из которых получили семейства: *Rosaceae* (4 вида), *Pinaceae* (3 вида), *Salicaceae* (2 вида), *Oleaceae, Aceraceae, Tiliaceae, Betulaceae, Hippocastanoideae, Hydrangeaceae* по 1 виду соответственно (таблица 1).

Таблица 1

Древесно-кустарниковые породы сквера Э. Ожешко

Семейство растений	Вид растений	Количество деревьев, шт./ % от всех деревьев
Rosaceae	*Sorbus aucuparia*	11/7,2
	Pyrus communis	3/1,9
	Crataegus	5/3,3
	Malus domestica	6/3,9
Pinaceae	*Larix decidua*	8/5,2
	Picea pungens	5/3,3
	Abies concolor	6/3,9
Salicaceae	*Salix fragilis*	7/4,6
	Populus balsamifera	10/6,6
Oleaceae	*Syringa vulgaris*	13/8,5
Aceraceae	*Acer negundo*	18/11,8

Окончание табл. 1

Семейство растений	Вид растений	Количество деревьев, шт./ % от всех деревьев
Tiliaceae	*Tilia cordata*	25/16,4
Betulaceae	*Betula pendula*	10/6,6
Sapindaceae	*Aesculus hippocastanum*	16/10,5
Hydrangeaceae	*Philadelphus coronarius*	9/5,9
Итого		152

Доминирующими по видовому разнообразию древесных растений в зеленых насаждениях сквера предстают семейства *Rosaceae* и *Pinaceae* (16,3 и 12,4 % соответственно). Семейство *Rosaceae* в структуре дендрофлоры представлено 4 родами – *Sorbus, Pyrus, Crataegus* и *Malus*, семейство *Pinaceae* – тремя родами *Larix, Picea* и *Abies* и 3 видами.

Промежуточное положение по количеству видов древесных растений *Salicaceae* (11,2 %), представленное 2 видами. Минимальным видовым разнообразием характеризуются семейства *Oleaceae, Aceraceae, Tiliaceae, Betulaceae, Sapindaceae* и *Hydrangeaceae*. По количеству растений в составе насаждений доминирующее положение занимают семейства *Tiliaceae* (16,4 %), *Rosaceae* (16,3 %), *Pinaceae* (12,4 %), *Aceraceae* (11,8 %) и *Sapindaceae* (10,5 %).

Среди кустарниковых насаждений по количеству растений преобладает семейство Oleaceae (8,5 %), представленное видом сирень обыкновенная (Syringa vulgaris).

Экологический анализ структуры зеленых насаждений сквера показал, что по потребности в почвенной и воздушной влаге среди древесных растений преобладают мезофиты (72,1 %), к ним относятся рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*) и другие, менее распространёнными оказались ксерофиты (20,9 %) (рисунок 2).

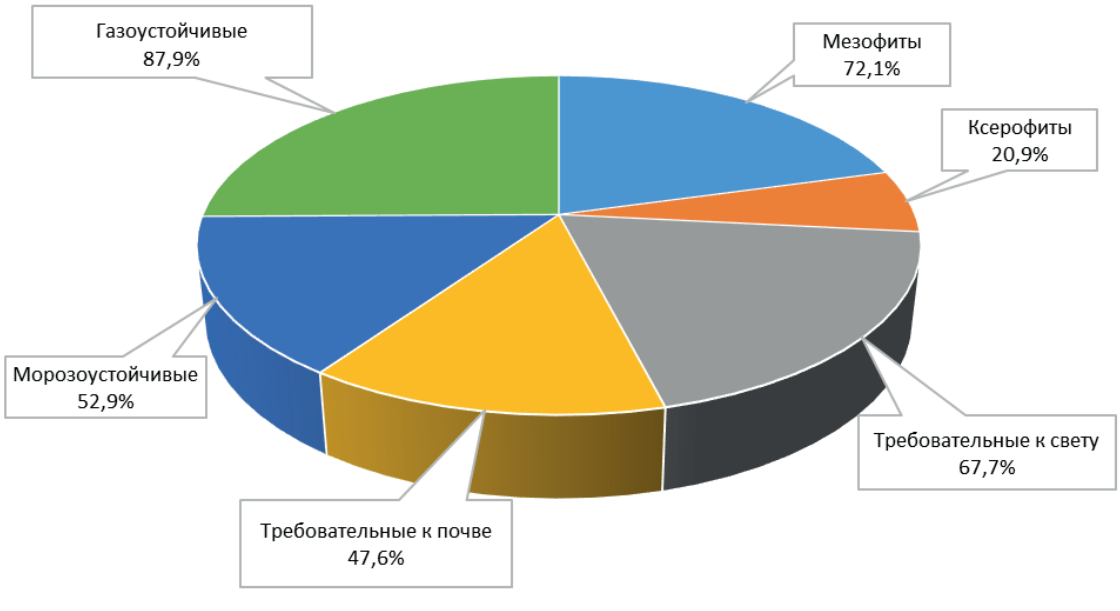


Рис. 2. Экологическая структура зеленых насаждений сквера Э. Ожешко

Доминирующее положение среди древесных пород по отношению к свету занимают гелиофиты (67,7 %), среди которых особой требовательностью отличаются виды береза повислая (*Betula pendula*), лиственница европейская (*Larix decidua*), клен ясенелистный (*Acer negundo*),

вместе с тем в зеленых насаждениях встречаются полутеневыносливые и теневыносливые деревья, среди которых представлены виды – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*). По отношению к почвенному плодородию, только 47,6 % древесных пород сквера требуют для произрастания богатых питательных почв.

Важным показателем адаптации древесных растений к условиям города является их морозостойкость, засухоустойчивость и газоустойчивость. Среди наиболее морозоустойчивых пород сквера можно выделить следующие виды: береза повислая (*Betula pendula*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), лиственница европейская (*Larix decidua*). Засухоустойчивостью отличается клен ясенелистный (*Acer negundo*), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*). Газоустойчивостью отличаются 87,9 % древесных насаждений сквера, среди них боярышник обыкновенный (*Crataegus laevigata*), ель колючая (*Picea pungens*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*) и другие.

Таким образом, видовой ассортимент древесных насаждений исследуемой территории в полной мере соответствует дендроклиматическим условиям размещения и функциональному назначению объекта озеленения с учетом выполнения им средорегулирующих функций.

Библиографические ссылки

1. *Жудрик, Е. В.* Ландшафтная структура дендрофлоры сквера И. Пулихова г. Минска / Е. В. Жудрик // Вести БГПУ. Серия 3. 2016. № 1. С. 30–35.

2. Благоустройство территорий. Озеленение. Правила проектирования и устройства: ТПК 45-3.02-69-2007 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск, 2008. 20 с.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСТРАКТИВНОСТИ СОЛОДА ПЕРЕМЕННЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

В. А. Пашинский[1)], **О. В. Бондарчук**[2)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, pashynski@mail.ru*
[2)] *Белорусский государственный аграный университет, пр-т Независимости, 99, 220012, г. Минск, Беларусь, guloks82@mail.ru*

Представлены результаты оценки обработки пивоваренного ячменя неоднородным электрическом полем высокой напряженности, которая существенным образом влияют на экстактивность солода.

Ключевые слова: пивоваренный ячмень; напряженность электрического поля; солод; влагопоглощение; сушка; энергоемкость сушки; экстракт солода.

MODEL OF MALTING BARLEY TREATMENT PROCESS TO INCREASE MALT EXTRACTIVITY BY AN ALTERNATING INHOMOGENEOUS ELECTRIC FIELD

Vasil Pashynski[1)], **Oksana Bondarchuk**[2)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, Pashynski@mail.ru*
[2)] *Belarus State Agrarian University, Independence Avenue, 220012, Minsk, Belarus, guloks82@mail.ru*

The results of evaluation of malting barley treatment with an inhomogeneous electric field of high intensity, which significantly affect the extactivity of malt, are presented.

Keywords: malting barley; electric field strength; malt; moisture absorption; drying; drying energy intensity; malt extract.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-181-186

Результаты оценки размера пор пивоваренного ячменя не обработанного и обработанного неоднородным электрическом полем высокой напряженности, которые существенным образом влияют на количество влаги впитываемой в процессе его замачивания и, в конечном счете, влияют на расход энергоресурсов при его сушке и повышение экстрактивности при получении солода доложены на Сахаровских чтениях 2024 года [1].

Для установления взаимного влияния определяющих факторов, получения математической модели процесса обработки пивоваренного ячменя переменным неоднородным электрическим полем для повышения экстрактивности солода разработана методика многофакторного эксперимента, представленная в литературе [2].

При проведении экспериментальных исследований было определено влияние ряда влияющих факторов на содержание массовой доли экстракта в сухом веществе солода. Из группы влияющих факторов, после ранжирования, для проведения опытов выбраны следующие параметры: X1 – напряженность электрического поля, МВ/м, В; X2 – время обработки, с; X3 – число обработок, шт. Напряженность электрического поля определяет скорость ввода электромагнитной энергии в обрабатываемый материал и в значительной степени влияет на степень преобразования вещества зерна (расщепление крахмала).

Функцией отклика является содержание массовой доли экстракта в сухом веществе солода.

Принятые в исследованиях уровни и интервалы варьирования воздействующих факторов, на основе априорного ранжирования, указаны в табл. 1.

Для получения математической модели процесса в виде полинома второй степени был реализован некомпозиционный план второго порядка Бокса и Бенкина. Этот план представляет собой выборки строк из полного многофакторного эксперимента. План полного многофакторного эксперимента с дополнительным опытом в центе рассчитывается по формуле

$$N_k = N_{ko} + 1 = 2^k + 1 + 2k, \quad (1)$$

где k – число факторов.

При построении плана полный перебор всех возможных комбинаций уровней достигается следующим образом: для первого фактора уровни варьирования чередуются; для второго фактора чередуются пары одинаковых уровней; для третьего чередуются четыре одинаковых уровня и т.д. Кроме того, добавляется еще один опыт в центре, в котором значения факторов равны 0.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования воздействующих факторов

Факторы	Единицы измерения	Обозначение		Интервалы варьирования	Натуральные уровни факторов		
		Натуральное	Кодированное		Нижний -1	Основной 0	Верхний +1
Напряженность	МВ/м	E	X1	0,3	0,9	1,2	1,5
Время обработки	с	t	X2	2	1	3	5
Число обработок	шт	n	X3	1	1	2	3

По результатам опытов, согласно, представленного плана получена математическая модель, характеризующая зависимость y (функция отклика – массовая доля экстракта в сухом веществе солода) от исследуемых факторов процесса. Эта модель представлена в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ – коэффициенты регрессии, определяющие степень влияния фактора или их сочетаний на величину функции отклика;

$x_1, x_2 x_3$ – кодированные факторы.

Кодированные значения факторов связаны с натуральными следующими зависимостями:

$$X_r = \frac{x_r - x_0}{\Delta x_r}, \; x_r = x_{r0} + \Delta x_r X_r; \quad (3)$$

$$x_{r0} = \frac{x_{r\max} + x_{r\min}}{2}, \; \Delta x_r = \frac{x_{r\max} - x_{r\min}}{2}. \quad (4)$$

Согласно матрице планирования табл. 2, была проведена серия опытов. Для уменьшения влияния неуправляемых факторов эксперимент проводим в лабораторных условиях в минисолодовне. Так как общее число опытов $N_2 = 15$ и дублей n = 4, подготовили 60 партий пивоваренного ячменя навеской 1000 г. Каждую партию обрабатывали в переменном неоднородном электрическом поле высокой напряженности согласно матрице планирования. Все остальные факторы (частота тока, влажность пивоваренного ячменя, время отлежки между электрообработкой и проращиванием, температура) поддерживали на одинаковых уровнях, обусловленных показателями качества пивоваренного ячменя и технологией производства солода.

Звездные точки определяются выражением [3]:

$$\alpha = \sqrt{\cdot\left(\sqrt{N_{k0}\cdot N_k} - \frac{N_{k0}}{2}\right)} = 1,2154\,; \tag{5}$$

$$\lambda_3 = \sqrt{\frac{N_{k0}}{N_k}} = 0,73\,. \tag{6}$$

Следовательно:

$$\alpha^2 - \lambda = 0,7469\,. \tag{7}$$

Формулы для расчета коэффициента уравнения регрессии и их дисперсий имеют вид [3]:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} X_{0j}\overline{Y}_j}{\sum_{j=1}^{N_k} X^2{}_{0j}}; \tag{8}$$

$$b_r = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} X_{rj}\overline{Y}_j}{\sum_{j=1}^{N_k} X^2{}_{rj}}; \qquad r=1,\ldots,k\,; \tag{9}$$

$$b_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj}X_{sj})\overline{Y}_j}{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj}X_{sj})^2}; \qquad r>s; \qquad r,s=1,\ldots,k\,; \tag{10}$$

$$b_{rr} = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj}{}^2 - \lambda_k)\overline{Y}_j}{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj}{}^2 - \lambda_k)^2}; \qquad r=1,\ldots,k\,. \tag{11}$$

Предварительная обработка экспериментальных данных представлены в табл. 4.
Выборочные параметры:
– выборочное среднее в каждом опыте

$$\overline{Y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_{ji}}{n} \qquad j=1,\ldots,N_{k;} \tag{12}$$

$$\overline{Y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{4} Y_{1i}}{4} = \frac{77,4+77,0+76,71+76,9}{4} = 77,0\,.$$

– выборочную дисперсию в каждом опыте

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{ji}-\overline{Y}_j\right)^2}{n-1}; \qquad j=1,\ldots,N_{k;} \tag{13}$$

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{4}\left(Y_{1i}-\overline{Y}_1\right)^2}{4-1} = \frac{(77,4-77,0)^2+(77,0-77,0)^2+(76,71-77,0)^2+(76,9-77,0)^2}{3} = 0,085\,.$$

Таблица 2

Матрица планирования для построения трехфакторного ортогонального уравнения регрессии второго порядка

Место плана	№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X^2_1-λ_2	X^2_2-λ_2	X^2_3-λ_2	Y
Ядро плана	1	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	77,0
	2	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	78,6
	3	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	77,7
	4	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	79,0
	5	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	79,0
	6	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	79,3
	7	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	78,1
	8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	77,7
Звез-дочки плана	9	+	-1,215	0	0	0	0	0	0,7469	0	0	78,7
	10	+	+1,215	0	0	0	0	0	0,7469	0	0	79,1
	11	+	0	-1,215	0	0	0	0	0	0,7469	0	79,2
	12	+	0	+1,215	0	0	0	0	0	0,7469	0	79,1
	13	+	0	0	-1,215	0	0	0	0	0	0,7469	79,0
	14	+	0	0	+1,215	0	0	0	0	0	0,7469	79,2
Центр плана	15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79,85

Расчетные данные представим в табл. 3.

Произведена проверка выборочных дисперсий на однородность по критерию Кохрена. Все выборочные дисперсии однородны, так как выполняется условие:

$$G_э = 0,185 \prec 0,276 = G_{3;15;0,95}. \quad (14)$$

Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала их значимость. Проверка многофакторного ортогонального уравнения регрессии на адекватность производили по критерию Фишера. При построении уравнения регрессии определяли дисперсию воспроизводимости, дисперсию адекватности и их числа степеней свободы. Установлено, что трехфакторное ортогональное уравнение регрессии второго порядка адекватно.

Таблица 3

Результаты расчетов предварительной обработки экспериментальных данных

N	Y_{j1}	Y_{j2}	Y_{j3}	Y_{j4}	Ycp_j	S^2_j
1	77,4	77	76,71	76,90	77,00	0,085
2	78,5	78,8	78,3	78,8	78,60	0,060
3	77,5	77,3	77,6	78,4	77,70	0,233
4	78,6	79,1	79,1	79,2	79,00	0,073
5	78,7	79,1	79	79,2	79,00	0,047
6	78,8	79,5	79,3	79,6	79,30	0,127
7	77,5	78,18	78,4	78,3	78,10	0,165
8	77,5	77,3	77,6	78,4	77,70	0,233
9	79,7	79,9	79,1	80,68	79,85	0,425
10	78,1	77,9	78,7	78,5	78,30	0,133
11	78,7	79,3	79,4	79,2	79,15	0,097
12	78,6	79,3	79,3	79,2	79,10	0,113
13	78,7	79,3	79,2	79,2	79,10	0,073
14	78,7	79,1	78,6	79,6	79,00	0,207
15	78,5	79,3	79,4	79,6	79,20	0,233
					ΣS^2_j	2,31

Находим оптимальные значения факторов ,. При котором параметр оптимизации достигает Y_{max} и рассчитаем абсолютную погрешность его прогнозирования ΔY_{max}

Оптимальное значение нормированных факторов или результаты оптимизации:

$$X_{1опт} = -\frac{b_1}{2 \cdot b_{11}} = -\frac{0,3}{2 \cdot (-0,5342)} = 0,2808 \; ; \quad x_{1опт} = x_{10} + X_{1опт} \cdot \Delta x_1 = 1,284 МВ/м \; ;$$

$$X_{2опт} = -\frac{b_2}{2 \cdot b_{22}} = -\frac{-0,1389}{2 \cdot (-0,3649)} = -0,19 \; ; \quad x_{2опт} = x_{20} + X_{2опт} \cdot \Delta x_2 = 2,62 \approx 3c \; ;$$

$$X_{3опт} = -\frac{b_3}{2 \cdot b_{33}} = -\frac{0,1865}{2 \cdot (-0,3988)} = 0,2339 \; ; \quad x_{3опт} = x_{30} + X_{3опт} \cdot \Delta x_3 = 2,6 \approx 3 \; ;$$

$$Y_{\max} = 78,7 + 0,3 \cdot X_{1опт} - 0,1389 \cdot X_{2опт} + 0,1865 \cdot X_{3опт} - 0,375 \cdot X_{1опт} \cdot X_{3опт} - 0,45 \cdot X_{2опт} \cdot X_{3опт} -$$

$$-0,5342 \cdot (X^2{}_{1опт} - 2/3) - 0,3649 \cdot (X^2{}_{2опт} - 2/3) - 0,3988 \cdot (X^2{}_{3опт} - 2/3) = 79,64\%.$$

Полученное уравнение регрессии адекватно и его можно использовать как интерполяционную формулу для вычисления экстрактивности солода при различных сочетаниях и значениях в указанных пределах определяющих факторов.

Предельная абсолютная погрешность $\Delta Y(X_{1,...}X_k)$ прогнозирования параметра $Y(X_{1,...}X_k)$ рассчитанного по адекватному трехфакторному ортогональному уравнению регрессии второго порядка, при условии ортогональности факторов:

$$\Delta Y(X_{1,...}X_k) = {}^{t_{f;p}}\sqrt{S^2(b_0) + S^2(b_1)\sum_{r=1}^{k} X_r^2 + S^2(b_{12})\sum_{r=1}^{k}(X_r X_s)^2 + S^2(b_{11})\sum_{r=1}^{k}(X^2{}_r - \lambda_k)^2}\,, \qquad (16)$$

где – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы (n-1) = 45 и доверительной вероятности 0,95 [3].

$$\Delta Y = 2,014 \cdot \sqrt[2]{(0,0506)^2 + 0,0592^2 \cdot (0,2808^2 + (-0,19)^2 + 0,2339^2) + 0,0693^2 \cdot ((-0,17 \cdot 0,2339)^2 +}$$

$$+\sqrt{0,2339 \cdot 0,2808)^2) + 0,0938^2 \cdot ((0,2808^2 - 2/3)^2 + ((-0,19)^2 - 2/3)^2 + (0,2339^2 - 2/3)^2)} = \pm 0,1\,.$$

Математическая обработка и анализ многофакторного эксперимента позволили выявить факторы, влияющие на экстрактивность солода, а также получить их математические выражения в зависимости от значений характеристик технологических факторов.

Максимальная экстрактивность солода Y_{max} = 79,64±0,1 % может быть достигнута при напряженности электрического поля $X1_{опт} \approx$ 1,284 МВ/м, экспозиции $X2_{опт} \approx$ 3с и кратности обработки $X3_{опт} \approx$ 3 раза.

Библиографические ссылки

1. *Пашинский, В. А.* Повышение качества солода обработкой пивоваренного ячменя в неоднородном электрическом поле / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук. Сахаровские чтения 2024 года: экологические проблемы XXI века: материалы 24-й международной научной конференции, 23–24 мая 2024 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра б. н., доцента О. И. Родькина, к. т н., доцента М. Г. Герменчук. Минск : ИВЦ Минфина, 2024. Ч. 2. 208 –211 с.

2. *Спиридонов А. А.* Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов / А. А. Спиридонов, Н. Г. Васильев. Свердловск : УПИ им. Кирова, 1975. 140 с.

3. *Леонов, А. Н.* Основы научных исследований в примерах и задачах : учебно-методическое пособие / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис; под ред. А. Н. Леонова. Минск : БГАТУ, 2013. 136с.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ

В. А. Пашинский[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, pashynski@mail.ru*

Представлены результаты оценки передового европейского опыта сжигания древесины и других видов биомассы. Подробно описываются технико-экономические и экологические аспекты установок, работающих на биомассе, с автоматическим управлением технологическим процессом мощностью от 0,4 до 5 МВт.

Ключевые слова: биомасса; биотопливо; сжигание; технические аспекты; экономические аспекты; экологические аспекты.

TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BIOMASS COMBUSTION

Vasil Pashynski[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, pashynski@mail.ru*

The results of evaluation of the best European experience in combustion of wood and other types of biomass are presented. The technical, economic and environmental aspects of biomass plants with automatic process control with capacities from 0.4 to 5 MW are described in detail.

Keywords: biomass; biofuel; combustion; technical aspects; economic aspects; environmental aspects.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-187-192

Установки, предназначенные для сжигания биомассы, представляют собой сложные системы, содержащие большое число компонентов. Обеспечение рациональной и экономически эффективной эксплуатации таких установок требует выполнения на надлежащем профессиональном уровне проектных и строительно-монтажных работ, включая определение параметров мощности установок.

Проектные и строительно-монтажные работы энергоисточников на основе сжигания биомассы включают ряд этапов. Одними из важнейших этапов являются технико-экономическое и экологическое обоснование.

Основными элементами технологического процесса сжигания биомассы, являются:

– склад топлива (склад длительного хранения, склад ежедневного пользования);
– система подачи и погрузки/разгрузки топлива;
– топка для сжигания биомассы
– котлоагрегат (водогрейный котел, паровой котел, котел с тепловым маслом)
– резервный котлоагрегат или котлоагрегат для использования при пиковых нагрузках (например, котел, работающий на природном газе или мазуте);
– система утилизации тепла (экономайзер или устройство конденсации топочного газа);
– система золоудаления и предварительной обработки золы;
– система очистки дымовых газов;
– дымовая труба;

– оборудование системы управления и воспроизведения данных;
– электротехнические и гидравлические устройства;
– аккумулятор тепла;
– паровая турбина, электрогенератор;
– сеть трубопроводов системы центрального теплоснабжения.

С целью оценки целесообразности инвестиций в энергоисточник, работающий на сжигании биомассы, введены технические, экономические и экологические критерии. Соблюдение этих критериев является обязательным условием принятия решения по реализации строительства новых систем теплоснабжения и установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии на основе сжигания биотоплива:

– коэффициент одновременности k_o, %

$$k_o = \frac{Q_{э.п.}}{Q_\Sigma} 100, \quad (1)$$

где $Q_{э.п.}$ – эффективная тепловая пиковая нагрузка – системы централизованного теплоснабжения, Гкал;

Q_Σ– суммарная номинальная мощность потребителей, Гкал.

– число часов максимума использования тепловой нагрузки в год τ_m, ч/год

$$\tau_m = \frac{W_\Sigma}{8760 \cdot W_н}, \quad (2)$$

где W_Σ – количество теплоты, произведенное котлоагрегатом в год, Гкал;

$W_н$– номинальная мощность котлоагрегата, Гкал.

– среднее значение расхода топлива на производство 1 ГКал теплоэнергии, кг у. т./ГКал;

$$g_{уд} = \frac{N_\Sigma}{W_\Sigma}, \quad (3)$$

где N_Σ – годовой расход топлива, кг у. т.

– потери энергии в тепловых сетях, %

$$\eta = \frac{W_\Sigma - W_g}{W_\Sigma} 100, \quad (4)$$

где W_g – количество теплоты, полученное потребителем в год, Гкал.

– удельные инвестиции, руб/кВт

$$k_{уд} = \frac{K}{W_н}, \quad (5)$$

где K – капиталовложения в котельную, ТЭЦ, руб.

– себестоимость тепловой энергии, руб/Гкал

$$C = \frac{З_а + З_п}{W_g}, \quad (6)$$

где $З_а$ – амортизационные отчисления, руб;

$З_п$– затраты на топливо, зарплату и пр., руб.

Определение оптимальных параметров котлоагрегата зависит от величины капитальных затрат на установку для сжигания биомассы и эксплуатационных затрат (в основном затрат на топливо и оплату труда) табл. 1 [1].

Таблица 1

Сравнение удельных затрат на инвестиции с затратами на топливо для установок, работающих на биомассе и мазуте мощностью котла 5 МВт

Установка	Удельные инвестиции	Затраты на топливо
На биомассе	Высокие (около 100 Евро/кВт)	Низкие (около 17,5 Евро/Гкал)
На топочном мазуте	Низкие (около 20 Евро/кВт)	Высокие (около 34,9 Евро/Гкал)

Удельные капиталовложения в строительство котельных установок на биомассе зависят от мощности котлоагрегата. Сравнение величин удельных капиталовложений в строительство котельных установок на биомассе в Австрии и Дании в зависимости от мощности котлов приведена на рис. 1 в ценах 1998 г. [1]. Инвестиции включают: затраты на топку с колосниковой решеткой для сжигания древесной щепы, резервный котел (на мазуте), склад топлива, систему подачи топлива, устройство очистки дымовых газов, дымовую трубу, здания и сооружения, гидравлическое и электротехническое оборудование, проектные, строительно-монтажные работы (без трубопроводной сети). Для снижения затрат на производство тепловой энергии необходимо обеспечить рациональную эксплуатацию установки. Так, себестоимость тепловой энергии при эксплуатации котлов, работающих на биомассе, зависит от числа часов работы с полной нагрузкой и мощности котлоагрегата. Что бы достичь приемлемой окупаемости инвестиций, число часов работы установки, работающей на биомассе с полной нагрузкой, должно быть не менее 4000 часов в год. Для ТЭЦ на биомассе соответствующий плановый показатель составляет 5000 или более часов работы с полной нагрузкой.

В результате полного сгорания топлива в котлоагрегатах, работающих на биомассе, образуются следующие выбросы в атмосферу двуокись углерода CO_2, оксиды азота NO_x, оксиды серы SO_x, хлористый водород HCl, механические частицы и тяжелые металлы, наиболее важными из которых являются медь, свинец, кадмий и ртуть.

Снижение уровня выбросов вредных веществ при сжигании биомассы достигается посредством либо предотвращения создания таких веществ (*первичные меры*), либо удаления этих веществ из топочного газа (*вторичные меры*). В настоящем разделе описываются меры по снижению первичных выбросов, образующихся при неполном сгорании и первичные меры по снижению уровня выбросов направлены на снижение образования и/или снижение уровня выбросов в топочной камере. С этой целью применяется ряд мер, включая:

– изменение уровня влажности топлива;
– изменение размеров частиц топлива;
– выбор соответствующего оборудования для сжигания топлива;
– оптимизация управления процессом горения;
– ступенчатый впуск воздуха при сжигании топлива;
– ступенчатое сжигание и дожиг топлива.

На практике эти меры часто взаимосвязаны.

Двуокись углерода, источником которой служит содержащийся в топливе углерод, является основным продуктом сгорания всех видов топливной биомассы. В целом выброс CO_2 в атмосферу является нежелательным, поскольку считается основной причиной, вызывающей парниковый эффект. Однако при сжигании древесной щепы количество выделяемого CO_2 не превышает количества CO_2, которое было связано древесиной во время роста дерева. Также при сжигании щепы выделяется такое же количество CO_2, что и при разложении древесины,

которое является основной альтернативой использованию древесины для производства энергии. Таким образом, древесная щепа считается нейтральным материалом по CO_2.

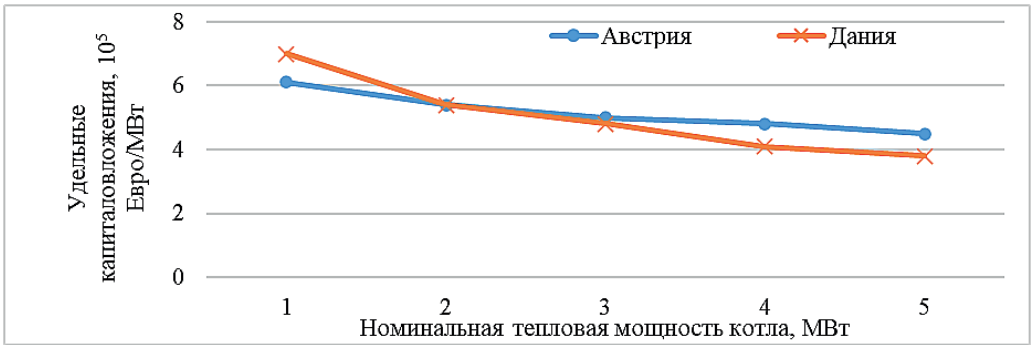


Рис. 1. Сравнение величины удельных инвестиций в строительство котельных установок на биомассе в Австрии и Дании в зависимости от тепловой мощности котла

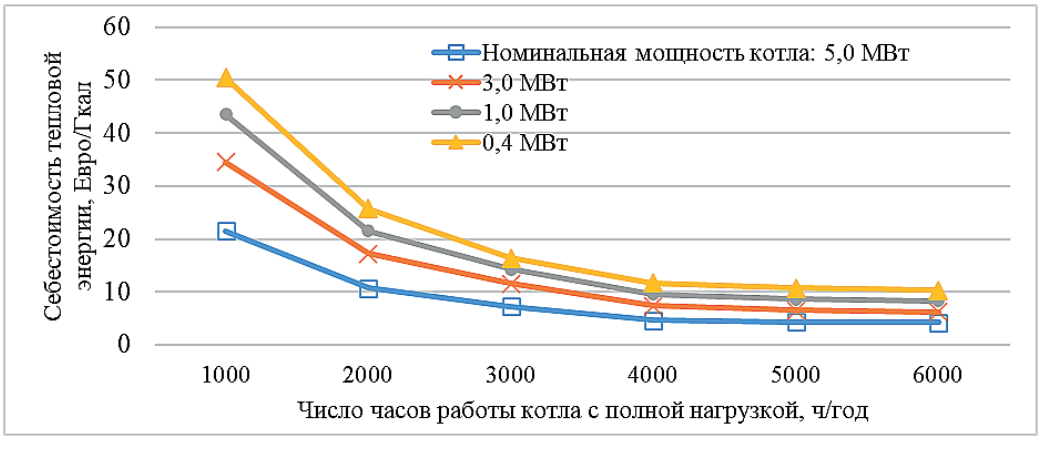


Рис. 2. Себестоимость тепловой энергии котельных установок на биомассе в зависимости от мощности и степени использования котлов

Оксиды азота (NO_x) образуется в процессе горения в результате трех различных процессов:

– *NO* образуется из азота, содержащегося в топливе при температуре сжигания более 1300 °С в результате окисления азота воздуха;

– NO_x образуется в результате сгорания углеводородов молекулярного азота с образованием свободных радикалов;

Так как температура сгорания биомассы в современных технологических процессах составляет от 800 до 1200°С, то угрозы образования *NO* отсутствует. Топливный NO_x играет наиболее важную роль в составе выбросов и уменьшить их можно с помощью первичных и вторичных мер.

Выбросы N_2O образуются при полном окислении содержащегося в топливе азота. Выбросы N_2O можно уменьшить с помощью первичных мер снижения уровня выбросов.

Оксиды серы образуются в результате полного окислении содержащейся в топливе серы. При этом образуется в основном SO_2 (>95 %). Однако при более низких температурах также возможно образование некоторого количества SO_3 (<5 %). Источником серы, выделяющейся при сжигании древесной щепы, являются соединения серы, поглощенные деревом в период его роста. При сжигании щепы на отопительных установках образуется значительно меньшее количество выбросов *SO*x, чем при сжигании мазута или угля, которые часто заменяет биомасса.

Часть содержащегося в топливе хлора выделяется в форме *HCl*. Древесина имеет очень низкое содержание хлора. Содержащийся в топливе хлор не полностью преобразуется в *HCl*.

Как и двуокись хлора, хлористый водород HCl способствует окислению, однако быстрее конденсируется (образуя соляную кислоту) и, следовательно, не только может вызывать повреждение материалов в месте образования, но также наносить вред растениям.

Выбросы *HCl* можно уменьшить посредством промывки топлива, что в ряде случаев используется для очистки соломы, или с помощью вторичных мер снижения уровня выбросов.

Механические частицы включают зольную пыль, образующуюся в результате уноса частиц золы дымовыми газами, и соли (*KCl*, *NaCl*, K_2SO_4), образующиеся в результате реакций между *K* или *Na* и *Cl* или *S*. Оптимальная конструкция топочной камеры позволяет в некоторой степени предотвратить вынос зольной пыли, увлекаемой с топочным газом из камеры, которая оседает на дно камеры и затем удаляется как зольный остаток.

Все виды топлива из сырой биомассы содержат некоторое количество тяжелых металлов (наиболее важными из которых являются C_U, *Pb*, *Cd*, и *Hg*). Эти тяжелые металлы остаются в золе или испаряются, оседают на поверхности частиц, выбрасываемых в атмосферу, или остаются внутри зольных частиц. Выбросы тяжелых металлов можно уменьшить с помощью вторичных мер снижения их уровня.

Предельно допустимые уровни выбросов, определяемые для установок, осуществляющих сжигание биомассы, колеблются в значительных пределах в различных странах и выражаются в различных единицах, что затрудняет их сравнение. Нормы выбросов при сжигании биомассы в котлах для Беларуси приведены в табл. 2 [2], а для Австрии, Финляндии, Бельгии, Дании и Швеции в табл. 3 [1]. Максимальные допустимые уровни выбросов играют важную роль при выборе технологии и определении конфигурации системы ТЭЦ или котельной. Применение крупных котельных и ТЭЦ на биомассе ограничено возможностями транспортировки биомассы, поэтому интересным вариантом представляется выращивание быстрорастущей биомассы у потребителя.

Таблица 2

Нормы выбросов при сжигании биомассы в котлах

Номинальная тепловая мощность котла, МВт	Норма выброса, мг/м^3			
	твердые частицы	углерод оксид	азота диоксид	сера диоксид
для котлов, введенных в эксплуатацию с 1 января 1975 г. до 30 нюня 2006 г.				
0,1–0,3 включительно	-	15 000	-	-
от 0,3 до 2,0 включительно	500	5 000	-	3 000
от 2,0 до 25 включительно	300	2 000	750	2 500
от 25 до 50 включительно	200	1 500	750	2 000
от 50 до 100 включительно	150	1 000	600	1 500
свыше 100	100	500	500	850
для котлов, введенных в эксплуатацию с 1 июля 2006 г. до 31 декабря 2018 г.				
0,1–0,3 включительно	600	7 500	750	-
от 0,3 до 2,0 включительно	300	2 500	600	2 500
от 2,0 до 25 включительно	150	1 000	500	2 000
от 25 до 50 включительно	100	750	500	1 500
от 50 до 100 включительно	50	500	400	850
свыше 100	30	500	200	200
для котлов, введенных в эксплуатацию с 1 января 2019 г.				
0,1–0,3 включительно	50	2 500	600	-
от 0,3 до 2,0 включительно	50	1 000	500	2 000
от 2,0 до 25 включительно	50	750	400	1 500
от 25 до 50 включительно	50	500	400	850
от 50 до 100 включительно	50	500	300	400
свыше 100	30	500	200	200

Таблица 3

Предельно допустимые уровни выбросов при сжигании биомассы в котлах

Страна		Австрия	Финляндия (новые)	Бельгия	Дания	Швеция
Топливо		древесная биомасса	биомасса	биомасса	биомасса	биомасса
Параметр	Номинальная тепловая мощность котла, МВт	мг/нм^3 13 % 0_2	мг/нм^3 6 % 0_2	мг/нм^3 11 % 0_2	мг/нм^3 6 % 0_2	мг/нм^3 6 % 0_2
твердые частицы	<0,12	150	-	150	-	350
	0,12-1	150	-	150	-	100
	1-2	150	265	150	-	100
	2-5	50	265	150	-	100
	5-10	50	-	30	-	100
	10-30	50	159	30	-	35
	30-100	50	50	10	50	35
CO	0,1-0,12	250	-	250	-	-
	0,12-1	250	-	250	-	-
	1-5	250	-	250	-	250
	5-50	100	-	200	-	250
	>50	100	-	100	-	250
NO_x	0,1-5	250	-	г.с.о.	-	200–300
	5-10	250	-	г.с.о.	-	200–300
	>10	200	-	г.с.о.	-	200
	>100	200	-	г.с.о.	-	200
	<30	г.с.о.	-	400	-	200
	30-50	200	-	200	-	200
	50-100	200	400	200	400	150–200
SO_x	<50	-	-	300	-	-
	50-100	-	200	50	200	200

Примечание. г.с.о. – диапазон при иных условиях.

Библиографические ссылки

1. *Vos, J.* Передовой опыт в использовании энергии биомассы / J. Vos // перевод с английского: в 2 ч. / учебно-выставочный и издательский центр УП «Белэнергосбережение», 2006. 198 с

2. Об утверждении экологических норм и правил ЭкоНиП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха» : М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 29 декабря 2022 г. № 32–Т : в ред. от 01 марта 2023 г. № 32 Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://naturegomel.by/sites/default/files/inline/files/ekonip_32-t.pdf (дата обращения: 03.01.2025).

БИОУТИЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ С ПОМОЩЬЮ МИКРООРГАНИЗМОВ

Т. И. Пятакова[1)], **К. А. Бойко**[1)], **И. В. Налетов**[1)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная 33*
220014, г. Минск, Беларусь, t.pyatakova@unitsky.com

В статье описаны результаты биоутилизации отходов растительного происхождения микроорганизмами (бактериями) для значительного облегчения переработки органического мусора. Проведены испытания по подбору ассоциаций микроорганизмов, посредством которых осуществлялся процесс биоутилизации для достижения необходимой степени фрагментации органических отходов и оценки её влияния на скорость биоутилизации. Описан опыт применения биоутилизированных остатков (жидкого компоста) в качестве органической подкормки для растений.

Ключевые слова: биоутилизация; азотфиксирующие микроорганизмы; целлюлозолитические микроорганизмы; жидкий компост.

BIOUTILIZATION OF ORGANIC WASTE USING MICROORGANISMS

T. I. Pyatakova[1)], **K. A. Boyko**[1)], **I. V. Naletov**[1)]

[1)] *Unitsky String Technologies, Inc., Zheleznodorozhnaya str. 33*
220014, Minsk, Belarus,t.pyatakova@unitsky.com

The article describes the results of the bioutilization of plant waste by microorganisms (bacteria) to significantly facilitate the processing of organic waste. Tests were conducted to select associations of microorganisms through which the bioutilization process was carried out to achieve the necessary degree of fragmentation of organic waste and assess its impact on the rate of bioutilization. The experience of using bioutilized residues (liquid compost) as organic fertilizer for plants is described.

Keywords: bioutilization; nitrogen-fixing microorganisms; cellulolytic microorganisms; liquid compost.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-193-197

Органические отходы в процессе ведения хозяйственной деятельности человека, всегда будут неотъемлемой частью. Накопление органических веществ ведёт к проблемам с окружающей средой, путём загрязнения продуктами распада органики. Общее содержание органических веществ в твёрдых бытовых отходах может достигать до 40 % [1]. Одним из методов переработки является компостирование, постепенная биодеструкции органики под действием постепенной деструкции органики. Однако существенный недостаток – высокая экспозиция временного процесса (от четырёх до шести месяцев). В среднем пищевые отходы разлагаются на протяжении месяца, однако при наличии в отходах высокой концентрации вторичных метаболитов то такая органика разлагается очень долго, например, апельсиновым коркам необходимо до шести месяцев до полной деструкции, а яблочные огрызки содержащие пергамент в семенных камерах и плотный эндосперм семян – за два месяца.

Альтернативным методом переработки является биоутилизация. Механизм аналогичен компостированию, но все процессы существенно интенсифицируются за счёт применения микробиологических инокулятов. Этот метод является наиболее безопасным, биологически чистым и наименее трудоёмким [2].

С микробиологической точки зрения компостирование – это экзотермический процесс биологического окисления, при котором органический субстрат подвергается аэробной биодеградации ассоциаций микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности.

Микробиота не только определяет качество и скорость созревания компоста, но и влияет на окружающую среду при попадании микроорганизмов в почву.

В процессе компостирования органические вещества, такие как белки, пептиды, аминокислоты, аммонийные соединения, углеводы, простые сахара, органические кислоты и другие, подвергаются окислению кислородом. Кроме того, образуются новые органические вещества, а также образуется вода, углекислый газ, аммиак и неприятно пахнущие газы, выделяя тепло. Это означает, что пищевые отходы могут быть использованы в качестве полезных органических удобрений благодаря их минеральному составу, включая макро- и микроэлементы, необходимые для питания живых организмов.

В качестве органической массы в эксперименте использовались различные пищевые отходы. Пищевые отходы, по сути, являются жирами, белками и углеводами. Исходя из этого, подбор микроорганизмов осуществлялся по принципу совместимости и взаимодополняемости.

Для получения суспензии клеток (далее – инокулят) применялись агрономически ценные микроорганизмы (целлюлозолитические и азотфиксирующие): *Bacillus amyloliquefaciens* БИМ В-1236, *Aeromonas sp.*, *Citrobacter sp.*, *Paeniclostridium sp.*, *Azotobacter vinelandii* БИМ В-75, выделенные из плодородных почв различных регионов мира.

На начальном этапе эксперимента к 100 г пищевых отходов добавляли инокулят, состоящий исключительно из целлюлозолитических микроорганизмов (*Bacillus amyloliquefaciens* БИМ В-1236, *Aeromonas sp.*, *Citrobacter sp.*, *Paeniclostridium sp.*) в объёмах 50 мл, 100 мл, 150 мл, 200 мл и 1 литр (контроль), и оставляли в термостате при температуре (32,5 ± 2) °С на семь дней до полного разложения.

На втором этапе (на седьмой день) в полученный в результате разложения компост добавляли азотфиксирующие культуры (*Azotobacter vinelandii* BIM V-75) и оставляли ещё на три дня. Результаты регистрировали на седьмой и десятый день эксперимента. Учитывали такие параметры, как содержание азота и общее микробиологическое число (ОМЧ).

На третьем этапе полученный жидкий компост использовали в качестве органического удобрения для салата (*Lactuca sativa* L.). Перед посадкой семян в субстрат в соотношении 1:20 и 1:50 добавляли компост каждого объёма инокулята (50 мл, 100 мл, 150 мл, 200 мл и контроль), а также минеральное удобрение, содержащее азот, фосфор и калий (NPK).

На второй день после начала первого этапа эксперимента в образцах наблюдалось значительное брожение и выделение газа по сравнению с первым днём. Помимо продолжающегося брожения и выделения газа в течение семи дней, были отмечены изменения цвета образцов. Количество органических остатков уменьшилось, и появился резкий неприятный запах. Данные наблюдения свидетельствуют о правильно подобранных условиях для развития и питания микроорганизмов. Биодеструкция органических остатков протекала активно.

По завершении эксперимента полученный жидкий компост был проанализирован на содержание азота для сравнения уровней до и после добавления азотфиксирующих бактерий, а также на общее микробиологическое число (ОМЧ). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты биодеструкции органических остатков при помощи сообщества целлюлозолитических и азотфиксирующих микроорганизмов

Объём инокулята	Содержание азота в осадке, мг/100 г		ОМЧ, КОЕ/мл	
	7-й день	10-й день	7-й день	10-й день
50 мл	2494,2	2255,06	9×10^9	1×10^9
100 мл	3228,2	3360,8	3×10^9	5×10^8
150 мл	1172,4	4251,85	9×10^8	1×10^8
200 мл	2252,7	3859,29	4×10^9	4×10^8
Контроль	2575,6	5227,27	3×10^8	3×10^7

Внесение азотфиксирующей культуры (*Azotobacter vinelandii* БИМ В-75) увеличило содержание азота в образцах в среднем на 30 % за трое суток. Наилучшие результаты показали компост с объёмом инокулята 150 мл и контроль. Показатель ОМЧ несколько снизился во всех образцах, что может свидетельствовать о недостаточном количестве кислорода для микроорганизмов из-за выделения газа.

В лабораторных условиях был проведён эксперимент по определению пригодности ферментированного остатка после биодеструкции органического вещества выбранной бактериальной ассоциацией [3].

Использовалась облегчённая почва объёмом 20 л, супесь с содержанием следующих микроэлементов (мг/кг почвы): N – 45, P – 68, K – 80, Mg – 12, Ca – 14, Fe – 0,04, Mr – 0,01. Органические остатки после биоутилизации вносились в различных вариациях (см. табл. 2). Температуру в период роста и развития культур поддерживали на уровне 25 – 28°C.

Таблица 2

Варианты смеси почвы при pH 6,8

Состав почвы	Содержание минеральных компонентов, мг/кг почвы					Добавление органической части, г/кг почвы
	N	P	K	Mg	Ca	
Контроль с добавлением NPK	50	80	140	12	20	–
Контроль без добавления компонентов	45	68	80	12	14	–
Вариант 1						0,005
Вариант 2						0,002
Вариант 3						0,05
Вариант 4						0,02
Вариант 5						0,15
Вариант 6						0,1
Вариант 7						0,2
Вариант 8						0,25

Объект исследования – салат-латук (*Lactuca sativa* L.) – обладает высокой скоростью роста и быстрой отзывчивостью на различные элементы и компоненты, находящиеся в почве. В неё перед высевом культур вносились органические остатки согласно таблице 4; затем проводился физиологический анализ растений.

Бактерии, присутствующие в почве, не оказывали патогенной нагрузки на прорастание семян и не оказывали прямого влияния на рост и развитие. Визуальный осмотр корневых систем ростков не выявил никаких признаков гниения или дефектов. Поверхность листьев выглядела жизнеспособной и здоровой во время прорастания. В ходе эксперимента использовались селективные среды для обнаружения патогенных микроорганизмов на листьях салата, таких как *Escherichia coli, Salmonella*, семейство *Enterobacter* и *Staphylococcus aureus*. Результаты показали отсутствие грибковых и бактериальных заболеваний.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 3. Варианты почвы 4 и 5 показали лучшие результаты по сравнению с контролем с добавлением NPK. Варианты 3, 6 и 7 показали хорошие результаты, средний размер растений составил 27,5 см.

Таблица 3

Средний размер салата с корнем

Состав почвы	Средний размер салата с корнем, см	Средний размер листовой пластины, см^2
Вариант 1	24	13,7
Вариант 2	25	12,8
Вариант 3	27,5	15,4
Вариант 4	31	12,1
Вариант 5	30	13,3
Вариант 6	27,1	13,4
Вариант 7	28	12,0
Вариант 8	23,3	11,9
Контроль без добавления компонентов	25	10,8
Контроль с добавлением NPK	26	11,7

В дальнейшем вариант 3 показал быстрый рост салата по сравнению с контролем с NPK – в пять раз выше. Растения в варианте 1 также показали хорошие результаты, превзойдя контроль примерно в четыре раза.

Число листовых пластинок оставалось постоянным во всех опытных вариантах, что свидетельствует о последовательном развитии растений в соответствии с генетической программой. Однако площадь листьев варьировалась в зависимости от объёма внесённого инокулята. Так, в варианте 3 она составила 15,4 см^2 (на 32 % больше, чем контроль NPK), в варианте 1 – 13,7 см^2, а в варианте 4 – 12,1 см^2. Увеличение площади листьев может быть связано с двумя основными факторами: поглощением нитратов и нитритов в свободной форме, присутствующих в почве, и наличием внеклеточных бактериальных ферментов, схожих по действию с фитогормонами или элиситорами, влияющими на ростостимулирующие показатели.

При повышении уровня фитогормонов запускаются ростостимулирующие процессы, что приводит к увеличению длины междоузлий и высоты культур, однако подобного не зафиксировано в эксперименте.

Вкусовые качества *L. sativa* оценивались по пятибалльной шкале качества, где 1 – горьковато-кислый вкус со слабовыраженным ароматом зелени; 2 – кислый вкус с мягким зелёным ароматом; 3 – слегка горьковатый вкус с ароматом свежей зелени; 4 – слабо выраженный горький вкус с ароматом зелени; 5 – отчётливый салатный вкус без горечи. Оценка проводилась дегустационной группой, в которую вошли 30 человек различной гендерной и возрастной принадлежности. Средний дегустационный балл для всех вариаций представлен на рисунке 1.

Вкусовые характеристики салата в вариантах 1, 3 и 4 превосходили контрольные. Во всех остальных вариантах растения не достигли контрольных показателей.

Оценка вкусовых свойств салата, выращенного в различных грунтах

В ходе исследования подобраны агрономически ценные микроорганизмы, способствующие процессу биоутилизации пищевых отходов. К четвёртому дню эксперимента органические остатки практически полностью разложились. Продукты ферментации использовали в качестве органического удобрения при посеве семян салата. Результаты эксперимента показали, что в вариантах почвы 1, 3 и 6 площадь листьев была в среднем на 2,5 см^2 больше, чем в контроле с NPK. Кроме того, в вариантах 4, 5 и 7 размер салата с корнями был в среднем на 3,7 см больше, чем в контроле с NPK.

Библиографические ссылки

1. *Систер, В. Г., Мирный А. Н.* Выбор технологий обезвреживания отходов с учётом их состава и свойств // Твёрдые бытовые отходы. 2009. № 1 (31). С. 16–21. (статья в печатном журнале, 2 автор)

2. Microbial Strategies for Bio-Transforming Food Waste into Resources / P. Sharma [et. al] // Bioresource Technology. 2020. Vol. 299. P 122580. (статья в печатном журнале, более 3-х авторов)

3. *Заяц, В. С., Налётов И. В., Крюков Е. А.* Протекторная способность экзогенных элиситоров из Ganoderma lucidum при индукции солевого стресса у кресс-салата // Настоящее и будущее биотехнологии растений: материалы междунар. науч. конф., Минск, 24–26 мая 2023 г. Минск: ИВЦ Минфина, 2023. С. 75. (статья в печатных материалах конференции, 3 автора)

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА СКОРОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ЦЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

М. Д. Ракова[1)], **Т. И. Пятакова**[1)], **И. В. Налётов**[1)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, 33, 220089, г. Минск, Беларусь, ma.rakova@unitsky.com*

В актуальной статье содержатся научно обоснованные данные о применении и влиянию микробиологических инокулятов на всхожесть семян и морфо-биологические характеристики проростков определенных видов растений. Исследуемые инокуляты получены на основе агрономически ценных микроорганизмов выделенных из почв различных регионов. Анализируемые инокуляты обладают стимулирующим действием по образованию вегетативных частей растений. Несмотря на отсутствие прямой зависимости между типами инокулятов и конкретными семенами, применение таких микробных препаратов значительно повышают продуктивность растений.

Ключевые слова: физиология растений; микробиологические инокуляты; всхожесть семян.

INFLUENCE OF SOIL MICROORGANISMS ON THE SPEED AND EFFICIENCY OF GERMINATION OF SEEDS OF VALUABLE AGRICULTURAL PLANTS

M. D. Rakova[1)], **T. I. Pyatakova**[1)], **I. V. Naletov**[1)]

[1)] *Unitsky String Technologies Inc., Zheleznodorozhnaya str., 33, 220089, Minsk, Belarus, ma.rakova@unitsky.com*

The article presents scientifically sound data on the use and effects of microbiological inoculates on seed germination and morpho-biological characteristics of seedlings of certain plant species. The studied inoculates were obtained on the basis of agronomically valuable microorganisms isolated from the soils of various regions. The analyzed inoculates have a stimulating effect on the formation of vegetative parts of plants. Despite the absence of a direct relationship between the types of inoculates and specific seeds, the use of such microbial preparations significantly increases plant productivity.

Keywords: plant physiology; microbiological inoculants; seed germination.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-198-202

Введение. Применение полезных микроорганизмов, в том числе азотфиксирующих, на семенах представляет собой эффективный способ введения микробного инокулята в почву. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в синтезе питательных веществ и преобразовании минералов в формы, доступные для растений. Они также вырабатывают гормоны, способствующие росту растений, поддерживают их иммунитет и регулируют реакцию на стрессовые факторы [1]. В сельском хозяйстве особое внимание уделяется бактериям, обитающим в ризосфере почвы, так называемые ризобактерии, способствующие росту растений (plant growth-promoting rhizobacteria, или PGPRs) [2]. Азот является ключевым ограничивающим фактором для достижения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. В последнее время наблюдается растущий интерес к биологической фиксации азота (БФА) в контексте устойчивого сельского хозяйства, что связано с высокой стоимостью минеральных удобрений и их негативным воздействием на окружающую среду [3].

Целью данного исследования является оценка влияния микробиологических инокулятов на всхожесть и морфо-биологические параметры семян растений различных семейств.

Материалы и методы. Объектом исследования являются семена 4 видов растений: салат листовой (*Lactuca sativa*) – 15 шт., редис (*Raphanus sativus*) – 10 шт., горох посевной (*Lathyrus oleraceus*) – 7 шт., свекла столовая (*Beta vulgaris*) – 10 шт.

В эксперименте использовалось 5 вариантов контроля: положительный контроль, контроль среда Эшби без мела, контроль среда Эшби с мелом, контроль физиологический раствор (ФЗР) и Эшби, контроль ФЗР. В качестве положительного контроля использовался инокулят, содержащий *Pseudomonas* sp., *Rhodococcus* sp., *Flavobacterium* sp. и *Azotobacter vinelandii*. Для получения анализируемых инокулятов вышеописанные микроорганизмы были выделены из почв следующих регионов: Беларусь (БPRFA), Россия (РоPRFA), Румыния (РуPRFA), США (CPRFA), Африка (APRFA), Индия (ИPRFA). Каждый выделенный штамм культивировался на среде Эшби, полученными инокулятами обрабатывались семена растений. Семена анализировались по следующим показателям: число проросших семян, средняя длина корня, средняя длина стебля, число боковых корней. Замеры снимались каждые два дня в течение недели.

Результаты и обсуждение. Ниже представлены табличные данные пяти контролей для всех исследуемых видов растений в последний день эксперимента (табл. 1).

Таблица 1

Ростовые показатели растений в контрольных вариантах

Вариант контроля	Растение	Число проросших семян, шт	Средняя длина корня, см	Средняя длина стебля, см	Среднее число боковых корней, шт
Эшби без мела	Редис	10	2,13	0,75	1,40
	Горох	7	3,14	0,14	0,29
	Свекла	6	1,25	0	0
	Салат	2	0,10	0	0
Эшби с мелом	Редис	8	4,31	1,56	7,75
	Горох	7	2,00	0,86	2
	Свекла	3	1,43	0,33	0
	Салат	0	0	0	0
ФЗР + Эшби	Редис	6	2,83	1,17	5,17
	Горох	7	1,71	0,29	0
	Свекла	0	0	0	0
	Салат	1	0,10	0	0
ФЗР	Редис	3	2,67	1,00	3,67
	Горох	7	1,36	0	0
	Свекла	4	1,00	0,63	0
	Салат	0	0	0	0
Положительный контроль	Редис	7	1,00	0	0
	Горох	7	3,14	0,14	0,29
	Свекла	4	0,63	0	0
	Салат	2	0,10	0	0

Семена редиса лучше всего проросли в контроле с использованием среды Эшби без мела на шестой день 10 семян из 10. Хуже всего проросли семена редиса в контроле с использованием ФЗР – 3 семени.

Семена гороха 7 из 7 проросли во всех контролях. Семена свеклы также лучше всего проросли в варианте с использованием среды Эшби без мела 6 семян из 10. Ни одного семени

свеклы не проросло на среде ФЗР + Эшби. Семена салата проросли в количестве двух штук на контроле со средой Эшби без мела, в вариантах с использованием Эшби с мелом и ФЗР проросло ноль семян салата из 10. Больше всего семян всех 4-х видов растений проросло в контроле, где использовалась среда Эшби без мела.

У редиса наибольшее значение средней длины корня, средняя длина стебля и среднее число боковых корней отмечено в контроле Эшби с мелом – 4,31 см, 1,56 см и 7,75 боковых корня соответственно. Наименьшие показатели наблюдаются в варианте с использованием Эшби без мела – 2,13 см, 0,75 см, 1,40 шт. стоит отметить, что во всех четырех контролях семена редиса проросли и сформировали корень, стебель и боковые корни.

У гороха наибольшая средняя длина корня в варианте контроля Эшби без мела – 3,14 см, наименьшая в варианте с ФЗР – 1,36 см. Средняя длина стебля наибольшая у семеня гороха с использованием Эшби с мелом – 0,86 см, наименьшая с ФЗР – 0 см. Больше всего боковых корней сформировалась также в варианте с применением Эшби с мелом – 2 боковых корня. В вариантах ФЗР + Эшби и ФЗР боковых корней не образовалось.

У свеклы наибольшая длина корня сформировалась в варианте Эшби с мелом – 1,43 см. В варианте ФЗР + Эшби не образовалось ни каких вегетативных частей растения, т.к. семена не проросли. Наибольшая средняя длина стебля в варианте с использованием ФЗР – 0,63 см. Стебель не сформировался в двух контролях: Эшби без мела и ФЗР + Эшби. Боковых корней не образовалась ни в одном из контролей.

Семена салата в вариантах Эшби без мела и ФЗР + Эшби сформировали корень длиной 0,10 см. Стебель и боковые корни не образовались ни в одном из контролей.

Результаты измерений исследуемых образцов, обработанных бактериальными суспензиями, в последний день эксперимента представлены ниже (табл. 2).

Таблица 2

Ростовые показатели растений при использовании инокулятов

Название инокулята	Растение	Число проросших семян, шт	Средняя длина корня, см	Средняя длина стебля, см	Среднее число боковых корней, шт
БPRFA	Редис	2	3,00	0,50	3,00
PoPRFA		10	5,85	2,50	9,30
PyPRFA		8	5,13	1,06	6,38
CPRFA		10	4,75	0,85	8,80
APRFA		7	3,86	2,00	4,57
ИPRFA		9	5,39	1,61	10,56
БPRFA	Горох	7	2,57	0,21	1,43
PoPRFA		5	3,40	0,40	0,80
PyPRFA		7	3,00	1,93	2,57
CPRFA		6	2,42	0,50	0
APRFA		6	2,58	1,25	3,83
ИPRFA		7	2,43	0,14	0
БPRFA	Свекла	10	1,70	1,55	0,90
PoPRFA		8	2,25	1,63	1,25
PyPRFA		5	1,40	0,50	0
CPRFA		9	1,56	0,56	0,89
APRFA		4	1,50	1,00	1,00
ИPRFA		7	2,14	0,93	2,43

Окончание табл. 2

Название инокулята	Растение	Число проросших семян, шт	Средняя длина корня, см	Средняя длина стебля, см	Среднее число боковых корней, шт
БPRFA	Салат	4	0,10	0	0
PoPRFA		2	0,10	0	0
PyPRFA	Салат	2	0,10	0	0
CPRFA		2	0,10	0	0
APRFA		4	0,10	0	0
ИPRFA		2	0,10	0	0

Наибольшее число проросших семян редиса наблюдается в варианте с использованием инокулятов PoPRFA и CPRFA – проросло 10 семян из 10. Наименьшее число семян редиса проросло в варианте с инокулятом БPRFA – 2 семени из 10. Наибольшая средняя длина корня и стебля 5,85 см и 2,50 см сформировались у семян редиса при обработке инокулятом PoPRFA. Наибольшее число боковых корней сформировались у проростков редиса при использовании ИPRFA инокулята – 10 боковых корней. Наименьшая длина корня, стебля и число боковых корней сформировалось у редиса обработанного БPRFA инокулятом – 3,00 см, 0,50 см и 3 боковых корня соответственно.

Все семена гороха проросли при использовании инокулятов: БPRFA, PyPRFA и ИPRFA. Меньше всего проросло семян при использовании инокулята PoPRFA – 5 семян из 7-ми. Наибольшая средняя длина корня у гороха при обработке семян инокулятом PoPRFA – 3,40 см. Наименьшая средняя длина корня у семян гороха при использовании инокулята CPRFA – 2,42 см. Наибольшая средняя длина стебля гороха наблюдается при обработке семян инокулятом PyPRFA – 1,93 см. Наименьшая средняя длина стебля наблюдается у семян гороха при использовании ИPRFA инокулята – 0,14 см. Семена гороха при обработке APRFA инокулятом сформировали наибольшее число боковых корней – 3,83 шт. Боковые корни не сформировались у семян обработанных инокулятами CPRFA и ИPRFA.

При проращивании семян свеклы больше всего проросло семян с применением инокулята БPRFA 10 семян из 10. Меньше всего проросло семян при использовании APRFA инокулята – 4 семени. Наибольшая длина корня и стебля у семян, выращенных с применением PoPRFA инокулята – 2,25 см и 1,63 см соответственно. Наименьшая длина корня и стебля сформировалась у семян свеклы обработанных PyPRFA инокулятом – 1,40 см и 0,50 см соответственно. Боковые корни не образовали семена обработанные PyPRFA инокулятом, остальные образцы сформировали боковые корни и наибольшее число сформировали семена свеклы обработанные ИPRFA инокулятом – 2,43 боковых корня.

Семена салата показали минимальные результаты по всхожести семян, наилучший показатель – 4 семени салата из 10, при обработке семян инокулятами ИPRFA, БPRFA, APRFA. Средняя длина корня – 0,10 см. Также ни у одного из образцов не сформировались стебель и не образовались боковые корни.

Заключение. По сравнению с контрольными вариантами, семена обработанные бактериальными инокулятами продемонстрировали лучшие морфофизиологические показатели.

БPRFA инокулят эффективно подействовал при проращивании семян гороха, свеклы и салата. PoPRFA инокулят стимулирующее подействовал на проращивание семян редиса, также использование данного инокулята показало наибольшую среднюю длину корня и стебля редиса 5,85 см и 2,50 см соответственно. Такой же эффект оказал PoPRFA инокулят на соответствующие показатели семян свеклы – 2,25 см и 1,63 см. На семена гороха данный инокулят лучше всех подействовал на развитие корневой системы – 3,40 см. PyPRFA инокулят обеспечил всхо-

жесть всех семян гороха, а также простимулировал образование наибольшей средней длины стебля – 1,93 см. CPRFA инокулят также, как и PoPRFA инокулят подействовал на проращивание семян редиса.

При использовании APRFA инокулята семена гороха сформировали наибольшее число боковых корней – 3,83 шт. Также данный инокулят положительно подействовал на проращивание семян салата. При использовании IPRFA инокулята проросли все семена гороха. Наибольшее число боковых корней сформировали семена свеклы, обработанные данным инокулятом – 2,43 боковых корня, а также семена редиса – 10,56 шт. Также IPRFA инокулят повлиял на лучшую всхожесть семян салата по сравнению с остальными инокулятами. Таким образом, использование микробиологических инокулятов благоприятно влияет на всхожесть, рост и развитие семян растений различных семейств.

Библиографические ссылки

1. Ассоциация агрономически ценных микроорганизмов для улучшения плодородия земель / В. С. Заяц [и др.] // Материалы XIII Международной научной конференции «Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты», Беларусь, г. Минск, 6-9 июня 2023 г. Минск, 2023. С. 266-267.

2. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) / G. Satoyo [et al.] // Biology. 2021. Vol. 10, № 6. P. 475.

3. Biological nitrogen fixation in cereal crops: Progress, strategies, and perspectives [Электронный ресурс] / K. Guo [et al.] // Plant Comm. 2023. Vol. 4. P. 100499. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10030364/pdf/main.pdf (дата обращения 17.02.2025). (статья в электронном журнале, более 3-х авторов)

ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СРЕДУ ОБИТАНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ ДОБЫЧИ ТОРФА

О. Н. Ратникова[1)], **А. Т. Борш**[1)]

[1)] *Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10*
220076, г. Минск, Беларусь, 306peatlands@mail.ru

Современное зонирование территорий в Республике Беларусь при определении вредного воздействия на объекты животного мира и (или) среду обитания вследствие добычи полезных ископаемых включает четыре зоны вредного воздействия. В результате исследований установлено, что при добыче торфа на торфяниках верхового типа необходимо рассчитывать две зоны вредного воздействия для каждого участка в зависимости от гидрологических, геоморфологических и других условий образования. Предложены методы расчета ширины II зоны умеренного вредного воздействия, включающие расчет влияния осушительной сети, с учетом мероприятий, исключающих вредное воздействие осушительных систем на гидрологический режим примыкающих к ним естественных болот.

Ключевые слова: верховое болото; добыча торфа; зоны воздействия; уровень грунтовых вод; природоохранные мероприятия.

ZONING OF TERRITORY OF HARMFUL EFFECTS ON HABITAT DUE TO PEAT EXTRACTION

O. N. Ratnikova[1)], **A. T. Borsh**[1)]

[1)] *Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, st. F. Skaryny, 10*
220076, Minsk, Belarus, 306peatlands@mail.ru

Modern zoning of the territories in the Republic of Belarus, when assessing the harmful effects of mining on wildlife and/or habitats, includes four impact zones. The research found that when extracting peat from high-moor peatlands, it is necessary to calculate two zones of harmful effects for each site, depending on the hydrological, geomorphological and other conditions of formation. Methods are proposed for calculating the width of zone II of moderate harmful effects, including an assessment of the drainage network's influence while considering measures to mitigate the negative impact of drainage systems on the hydrological regime of adjacent natural swamps.

Keywords: bog; peat extraction; impact zones; groundwater level; environmental measures.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-203-207

Введение. На территории Республики Беларусь находится около 7 тыс. торфяных месторождений с запасами торфа в границах промышленной глубины торфяной залежи около 2,5 млрд т [1]. Использование этих запасов подразумевает кардинальное изменение болотных экосистем вследствие понижения уровня грунтовых вод (далее – УГВ) на полях добычи с последующим вовлечением сопредельных территорий. Расположение торфяной залежи, а также экономическая целесообразность процесса добычи, предполагают проведение работ на участках с большими площадями.

По данным ГПО «Белтопгаз», торфяная отрасль представлена 14 организациями, которые ежегодно производят более миллиона тонн продукции топливного назначения, а также более 150 тыс. т продукции не топливного назначения, разрабатывается около 44 торфяных месторождений. Торфобрикетные производства расположены в сельских населенных пунктах и яв-

ляются для них градообразующими. Численность работающих в торфяной отрасли составляет около 2,4 тыс. человек.

Ряд существующих торфобрикетных заводов страны может быть переориентирован на выпуск наукоемкой продукции на основе глубокой переработки торфа, не требующей больших расходов торфяного сырья: гуминовых препаратов широкого спектра действия, комплексных гранулированных удобрений, кипованного верхового торфа, торфяных грунтов и субстратов, активированного углеродного адсорбента (активированного угля), сорбционного грунта на основе торфа − поглотителей и др. Это позволит сохранить их потенциал, что немаловажно при социально ориентированном направлении такого рода производств.

Основная часть. В настоящее время в Республике Беларусь на территории вредного воздействия при добыче полезных ископаемых выделяют четыре зоны [2]:

I зона – зона прямого уничтожения или полного вытеснения всех объектов животного мира и (или) среды их обитания, т.е. площади, отводимые для добычи торфа;

II зона – зона сильного вредного воздействия, ширина зоны составляет 1,5 км;

III зона – зона умеренного вредного воздействия, ширина зоны – 2,5 км;

IV зона – зона слабого вредного воздействия, ширина зоны – 2,5 км.

Процедура проведения оценки воздействия на окружающую среду предполагает выполнение оценки сразу всего месторождения. Однако на практике в Беларуси для добычи торфа осваивается не сразу вся территория торфяного месторождения, а поэтапно и небольшими участками согласно акту выбора размещения земельного участка. Часть торфяного месторождения в нулевой границе, где нет добычи торфа, должна оставаться в естественном состоянии, освоенный участок сразу после выбытия из промышленной эксплуатации передается прежним землепользователям для дальнейшего использования.

Добыче торфа предшествует интенсивное осушение торфяного месторождения. Снижение УГВ на полях добычи торфа при разработке торфяных месторождений распространяется на прилегающие территории. Если не предусмотреть природоохранных мероприятий по предотвращению нарушений гидрологического режима прилегающих участков болота, зона влияния осушительной сети с каждым годом будет расширяться.

Под зоной влияния осушительной сети подразумевается зона снижения УГВ прилегающих суходольных территорий и естественных болот в результате осушения и разработки торфяника.

Непосредственное влияние осушительных каналов на УГВ верховых болот происходит следующим образом. Для осушения болот прокладывается сеть каналов. Глубина картовых каналов составляет около 1,5 м, магистральных, валовых и нагорных − более 2 м, часто такие каналы прокапываются до минерального дна. Уровень грунтовых вод в магистральных каналах осушительных систем находится в пределах 0,9–2,0 м ниже поверхности болота.

Воздействие осушенных торфяников на гидрологический режим прилегающих территорий количественно оценивается путем расчета двух параметров: зоны влияния осушительной сети и величины снижения УГВ. Для прогнозных расчетов этих величин применяют различные формулы, выбор которых определяется гидрогеологическими условиями и наличием исходной информации. Наиболее широко распространен и апробирован метод определения этих величин с применением формул Ф.М. Бочевера и К.Г. Асатура [3].

Например, в результате проведения оценки воздействия на окружающую среду на торфяном месторождении верхового типа Морочно (Столинский р-н, Брестская обл.) зона влияния осушительной сети при расчете составила 460 м [4], при этом величина УГВ на расстоянии 400 м от осушительной сети понизится на 0,18 м. Учитывая, что средний УГВ естественного болота составляет от 0 до 0,20 м ниже поверхности земли [5], ширину зоны влияния осушительной сети планируемого к отводу участка приняли 400 м (рис. 1).

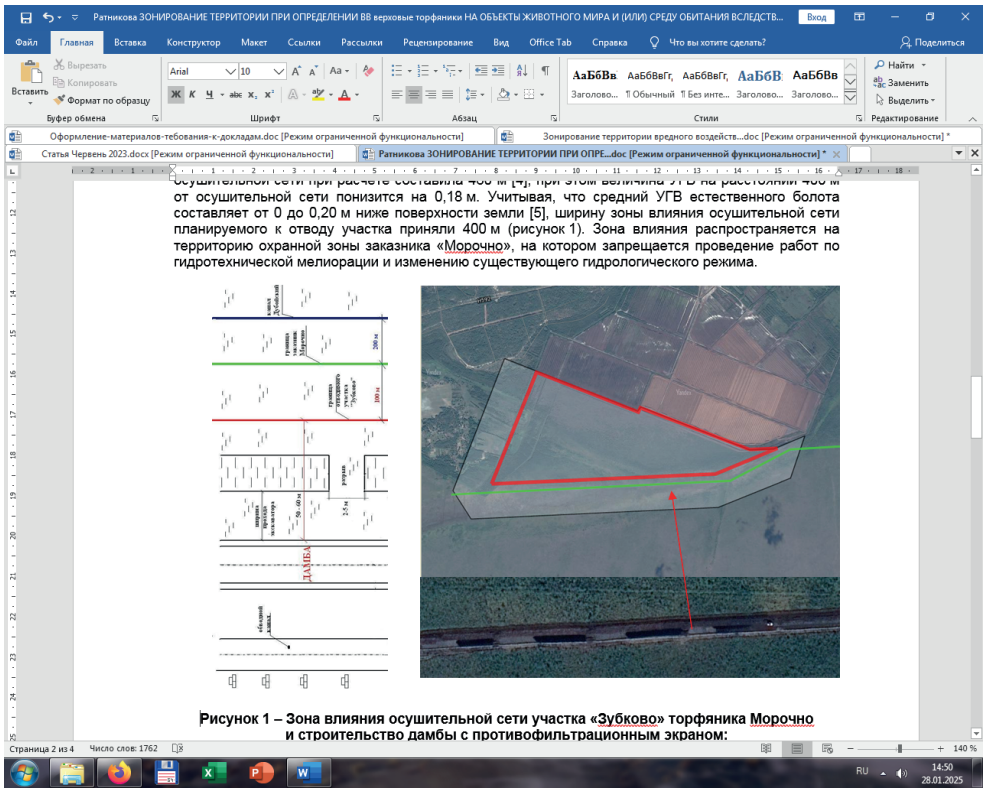


Рис. 1. Зона влияния осушительной сети участка «Зубково» торфяника Морочно и строительство дамбы с противофильтрационным экраном: ——— – граница отводимого участка, ——— – граница заказника, ——— – граница зоны влияния мелиоративного канала

Зона влияния распространяется на территорию охранной зоны заказника «Морочно», на котором запрещается проведение работ по гидротехнической мелиорации и изменению существующего гидрологического режима.

Границей мелиоративной системы считается контур осушенного объекта, на котором в результате функционирования осушительной сети обеспечивается заданный УГВ. Такой границей может быть нагорный или ловчий канал по периметру разрабатываемого или выработанного участка.

Расчетный метод для оценки зоны понижения УГВ часто ограничен отсутствием исходной информации о значениях таких гидрогеологических параметров, как средняя мощность водоносного слоя, коэффициент фильтрации грунта, коэффициент водоотдачи в каждом конкретном случае. Эти данные обычно принимаются по материалам изысканий и гидрогеологической съемки.

Для определения воздействия осушенных и выработанных участков торфяных месторождений на УГВ прилегающих территорий разработан обобщенный метод определения площади с нарушенным гидрологическим режимом участков торфяного месторождения, выбывших из эксплуатации после добычи торфа. В площадь с нарушенным гидрологическим режимом входят выработанная площадь торфяного месторождения и площадь, включающая зону влияния осушительной сети. Кроме того, учитывается и то, что площадь зоны влияния зависит не только от величины снижения УГВ, но и от размера выработанного участка [3].

В результате анализа и математической обработки многочисленных значений Нр и λ, рассчитанных по формулам Ф.М. Бочевера и К.Г. Асатура, получены обобщенные коэффициенты перехода от выработанной площади к нарушенной для различных типов торфяников с учетом значений УГВ на границе выработанного участка.

На рис. 2 приведены коэффициенты перехода от площади выработанного участка к общей площади территории с нарушенным гидрологическим режимом для различных градаций выработанных месторождений.

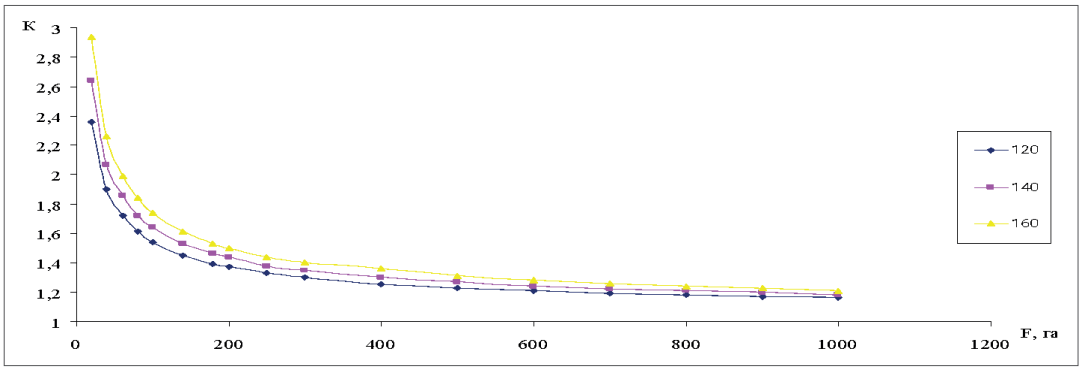


Рис. 2. Коэффициенты перехода от площади нарушенного участка к площади с нарушенным гидрологическим режимом для верхового торфяника при УГВ 0,1–0,2 м [3]

Зная тип месторождения, площадь нарушенного участка в результате добычи торфа, значение УГВ на границе мелиоративной системы, можно определить коэффициент перехода от разрабатываемой площади к территории с нарушенным гидрологическим режимом. Данный метод позволит значительно упростить расчеты и дать возможность использовать его при отсутствии данных гидрогеологических изысканий конкретного торфяного месторождения.

Согласно акту выбора, площадь отводимого участка торфяника Морочно составляла 260 га, соответственно территория с нарушенным гидрологическим режимом – 351 га.

Участок добычи торфа примыкает к естественному болоту, расположенному на землях Республиканского заказника «Морочно», входящего в список территорий международного значения для птиц и являющегося водно-болотным угодьем международного значения (Рамсарская конвенция). Для предупреждения нарушений гидрологического режима было рекомендовано и ОАО «Торфопредприятие Глинка» строительство специальной водонепроницаемой дамбы между болотом и осушительными системами [3]. Значимость строительства дамбы заключается в ограничении поверхностного и грунтового стоков с естественного болота в дренирующие каналы и сохранение типичного для болот гидрологического режима. Данные рекомендации были соблюдены, этим сократили зону воздействия на заказник. Впервые такая же дамба была построена на торфянике Докудовский (Лидский р-н, Гродненская обл.) в 2007 г. в северной части и в 2020 г. в восточной. Исследования этой дамбы в 2023 и 2024 гг. показали ее способность поддерживать УГВ естественного верхового болота Республиканского заказника «Докудовский».

Выводы. В результате исследований установлено, что современное зонирование территории при определении вредного воздействия на объекты животного мира и (или) среду обитания вследствие добычи торфа должно включать две зоны:

I зону – зону прямого уничтожения. Потери численности диких животных и годовой продуктивности составляют 75–100 %. Площадь I зоны, т.е. зоны прямого уничтожения или полного вытеснения всех объектов животного мира и (или) среды их обитания, является непосредственно выбранным земельным участком согласно Акту выбора, включающему участок, отводимый под разработку месторождения торфа, а также под строительство и обслуживание подъездной автомобильной дороги, отводного канала и др.;

II зону – зону умеренного вредного воздействия (слабого вредного воздействия). Охватывает площадь между зоной прямого уничтожения и внешней границей влияния осушительной сети. Потери численности диких животных и годовой продуктивности составляют до 25 %.

Расчёт ширины II зоны включает расчет влияния осушительной сети для каждого конкретного объекта добычи торфа с учетом мероприятий, исключающих вредное воздействие осушительных систем на гидрологический режим примыкающих к ним болот, участки которых не планируются к разработке и др.

Библиографические ссылки

1. *Тановицкая, Н. И.* Распределение торфяников Республики Беларусь по направлениям использования / Н. И. Тановицкая, Н. Н. Бамбалов, Ю. Ю. Навоша, О. Н. Ратникова, Е. П. Леонович, Л. С. Лис // Земля Беларуси. Мн. 2016. № 1. С. 28–32.

2. Положение о порядке определения размера компенсационных выплат и их осуществления, утвержденное Постановлением Совета Министров РБ от 07.02.2008 г. № 168 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 31.08.2011 г. № 1158).

3. ТКП 17.12-03-2011 (02120) Экологические требования и правила оценки воздействия разработки торфяных месторождений на окружающую среду. Мн.: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2011. 27 с.

4. *Тановицкая Н. И.* Мероприятия по минимизации воздействия добычи торфа на участке торфяного месторождения Морочно / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. Брест: БрГУ, 2019. Ч. 2. С. 267–270.

5. *Тановицкая, Н. И.* Методы восстановления нарушенных болот Беларуси / Тановицкая Н. И., Ратникова О. Н. // Актуальные проблемы экологии: сб. науч. ст. / Гродн. гос. ун-т им. Янки Купалы: редкол.: И. Б. Заводник (гл. ред.), А. Е. Каревский, О. В. Павлова. Гродно: ГрГУ, 2020. С. 185–187. Методические рекомендации по экологической реабилитации нарушенных болот и по предотвращению нарушений гидрологического режима болотных экосистем при осушительных работах / Козулин А. В., Н. И. Тановицкая, И. Н. Вершицкая. Мн., 2010. 40 с.

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ Г. ЛЕНИНСК-КУЗНЕЦКИЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. С. Рогова[1)], **Д. Ф. Искужанов**[1)], **Г. Е. Худобин**[1)]

[1)] *«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,пр. Ленина 30, 634050, г. Томск, Россия, rogova@tpu.ru*

Загрязнение воздуха тяжелыми металлами представляет серьезную угрозу для здоровья людей и окружающей среды в угольно добывающих городах. В данном исследовании изучили влияния сезонных условий на уровень загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами в городе Ленинск-Кузнецкий, Кемеровская область. Работа проведена с помощью активного биомониторинга в летний и зимний периоды. Мхи были развешаны в 28 точках рядом с предприятиями угольной промышленности. Содержание химических элементов в эпифитных мхах определяли нейтронно-активационным анализом. По полученным концентрациям были построены карты распределения (Surfer) и выявлены наиболее загрязненные районы исследуемой территории.

Ключевые слова: биомониторинг; эпифитный мох; нейтронно-активационный анализ; химические элементы; загрязнение атмосферного воздуха.

INFLUENCE OF SEASONAL CONDITIONS ON HEAVY METAL POLLUTION OF THE SURFACE LAYER OF LENINSK-KUZNETSKY, KEMEROVO REGION

N. S. Rogova[1)], **D. F. Iskuzhanov**[1)], **G. E. Khudobin**[1)]

[1)] *National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, rogova@tpu.ru*

Heavy metal air pollution poses a serious threat to human health and the environment in coal-mining towns. In this study, we studied the effects of seasonal conditions on the level of atmospheric air pollution by heavy metals in the city of Leninsk-Kuznetsky, Kemerovo region. The work was carried out using active biomonitoring during the summer and winter periods. Moss samples were placed in 28 locations near coal industry enterprises. The content of chemical elements in epiphytic mosses was determined using neutron activation analysis. Based on the concentrations obtained, distribution maps (Surfer) were constructed and the most polluted areas of the studied territory were identified.

Keywords: biomonitoring; epiphytic moss; neutron activation analysis; chemical elements; atmospheric air pollution.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-208-211

Загрязнение атмосферного воздуха тяжелыми металлами является одной из наиболее серьезных экологических проблем, с которыми сталкиваются современные промышленные города. Эти вещества способны приводить к повреждению нервной системы, что вызывает проблемы с памятью, концентрацией и координацией движений. Такие неврологические расстройства значительно снижают качество жизни и повседневные функции человека. Кроме того, вдыхание частиц, содержащих опасные вещества, может вызывать воспаление дыхательных путей, что приводит к развитию бронхита и других респираторных заболеваний. Это создает дополнительные риски, особенно для людей с хроническими заболеваниями легких. Также существует связь между воздействием токсичных веществ и повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний. Их токсические эффекты могут усугублять состояние сердеч-

но-сосудистой системы, увеличивая вероятность возникновения сердечных приступов и инсультов. Некоторые из этих веществ являются канцерогенами, что повышает риск развития различных видов рака [1]. Особую значимость эта проблема приобретает в городах с развитой промышленной инфраструктурой, таких как Ленинск-Кузнецкий – один из крупных угледобывающих центров Кузбасса.

Традиционные методы мониторинга атмосферного воздуха, основанные на использовании технических средств и приборов, зачастую требуют значительных финансовых и временных затрат. Кроме того, они не всегда позволяют полноценно оценить долгосрочное воздействие загрязняющих веществ на экосистемы, поскольку фиксируют концентрации загрязнителей лишь в определённый момент времени. В настоящее время активно развиваются альтернативные методы оценки загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими токсичными элементами, использующие естественные биоиндикаторы, такие как мхи и лишайники. Биомониторинг с применением мхов зарекомендовал себя как один из наиболее популярных, простых в реализации и экономически эффективных способов контроля, обнаружения и анализа изменений качества воздуха. В данном исследовании был применен метод активного биомониторинга. Активный биомониторинг – это метод экологического контроля, при котором живые организмы (биоиндикаторы) специально размещаются в исследуемой среде для оценки ее качества и уровня загрязнения [2]. В отличие от пассивного биомониторинга, где используются уже существующие в экосистеме организмы, активный биомониторинг предполагает преднамеренное внедрение биоиндикаторов в определенные условия для получения более точных и контролируемых данных.

Важным аспектом изучения загрязнения атмосферы является анализ влияния сезонных условий на уровень концентрации тяжелых металлов в приземном слое. Сезонные изменения, такие как колебания температуры, влажности, а также направление и сила ветра, играют ключевую роль в распределении и накоплении загрязняющих веществ в атмосфере. Эти факторы могут существенно влиять на то, как и где накапливаются тяжелые металлы, что, в свою очередь, имеет прямые последствия для здоровья населения и состояния экосистем [3]. Например, в зимний период, когда температура понижается, и наблюдается увеличение использования отопительных систем, происходит выброс различных загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы, в атмосферу. Это может привести к повышению их концентраций в приземном слое воздуха, особенно в городских и промышленных районах. В то же время, в летний период, когда температура повышается и увеличивается солнечная активность, происходит изменение динамики атмосферных процессов. Более высокая температура может способствовать испарению и конвекции, что влияет на рассеивание загрязняющих веществ [4].

Целью данного исследования является изучение загрязнения металлами атмосферного воздуха города, производственная деятельность в котором связана с угледобывающей промышленностью, за летний и зимний сезоны. Исследование проведено с помощью эпифитных мхов-биоиндикаторов как депонирующих загрязнения объектов.

В работе использован метод активного биомониторинга на основе эпифитного мха Pylaisiella polyantha (Hedw.), обитающего на коре деревьев. Из данного вида мха, отобранного на удаленных от населенных пунктов участков (Томская область), изготовлены планшеты для трансплантации образцов мха на исследуемую территорию. Методика изготовления планшетов изложена в [5]. На прилегающих к предприятиям участках города Ленинск-Кузнецкий выбрано 28 удобных для размещения планшетов точек. В каждой точке в мае и октябре 2023 г. на высоте 1,5-2 метра размещено по три планшета. На удаленном от города участке на расстояние более 50 км размещены три планшета для определения фоновых концентраций химических элементов. По истечению 5 и 6 месяцев, соответственно, все планшеты были собраны и подготовлены к нейтронно-активационному анализу (НАА). Отобранные пробы мха очищали от земли и различных примесей, затем промывали дистиллированной водой. Далее высушивали

до постоянного веса при температуре 40˚ и гомогенизировали в фарфоровой ступке. Измельченный мох прессовали в таблетки для НАА. Содержание химических элементов определяли с помощью НАА на реакторе ИРТ-И ТПУ, г. Томск.

Анализ усредненных по точкам концентраций показал значительное превышение по некоторым элементам и для летнего, и зимнего периода наблюдения. Сравнение проводилось с фоновыми значения концентраций (с. Новоборочаты, Кемеровская область). Значимым превышением над фоновыми концентрациями считается 3-х кратное его превышение. На рисунках 1, 2, в качестве примера, представлены карты распределения хрома во мхах.

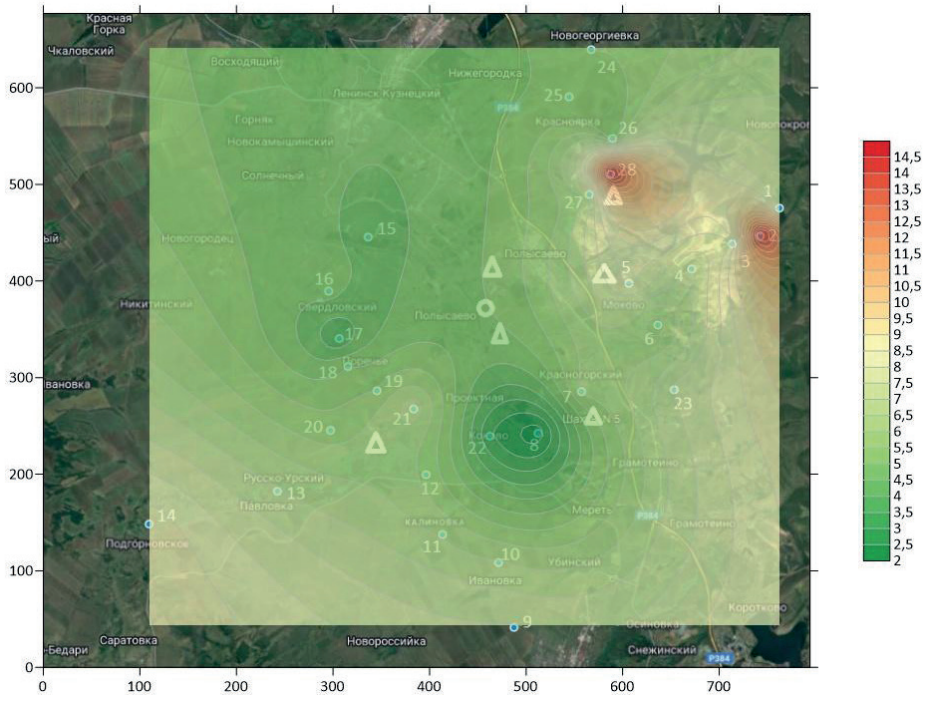


Рис. 1. Карта концентраций хрома во мхах за зимний период

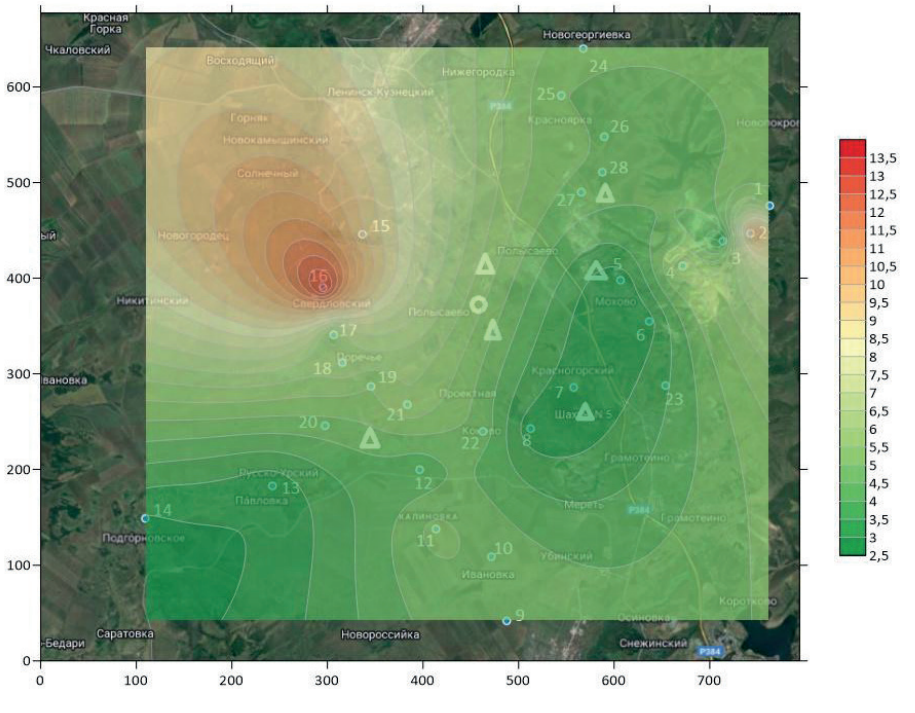


Рис. 2. Карта концентраций хрома во мхах за летний период

В течение летнего периода наблюдений в городе Ленинск-Кузнецкий были зафиксированы повышенные уровни большинства химических элементов в точках, расположенных как в угольном разрезе, так и в его окрестностях. Значительное содержание многих исследуемых элементов также отмечается вблизи самого города.

Зимой, в ходе аналогичных наблюдений, были получены следующие данные: для элементов Cr, Lu, Rb, Sm и Tb высокие концентрации обнаружены вдоль угольного разреза. В районе шахт отмечены увеличенные уровни стронция. Кроме того, превышение фоновых значений для элементов La, Nd, Yb и Eu зафиксировано в точках, находящихся рядом с угольным разрезом и шахтами.

Сравнение результатов за летний и зимний периоды в Ленинске-Кузнецком демонстрирует тенденцию к снижению загрязнения атмосферного воздуха, что связано с осадками и образованием снежного покрова, которые препятствуют сильному распространению пыли с поверхности угольного разреза. Летние месяцы характеризуются отсутствием значительных осадков, что уменьшает естественное вымывание загрязняющих веществ из атмосферы. При нехватке влаги пыль и другие загрязнители могут оставаться в воздухе дольше, что приводит к увеличению их концентрации. Количество элементов с уровнем содержания, близким к фоновым значениям, возросло вдвое, тогда как количество элементов с концентрацией, превышающей фоновые значения на порядок и более, сократилось втрое по сравнению с летним периодом. Для обоих периодов характерны высокие уровни Lu, Yb и Nd в точках около угольного разреза, а Sr – вблизи шахт.

В ходе проведенных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в Ленинске-Кузнецком было установлено, что уровни содержания химических элементов варьируются в зависимости от сезона. Таким образом, результаты исследования подчеркивают важность учета сезонных факторов при оценке уровня загрязнения и разработки мер по улучшению экологической ситуации в регионе.

Библиографические ссылки

1. Temporal and spatial biomonitoring of atmospheric heavy metal pollution using moss bags in Xichang. / Hao-Tian Mao [et al.] [Электронный ресурс]. // Science direct URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651322005280 (дата обращения 19.02.2025)

2. Assessment of atmospheric deposition of major and trace elements using neutron activation analysis and GIS technology: Baku - Azerbaijan. / Afag I. Madadzada [et al.] [Электронный ресурс]. // Science direct URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026265X19301419 (дата обращения 21.02.2025)

3. Assessment of atmospheric heavy metal pollution in Qinghai-Tibet Plateau: Using mosses as biomonitor. / Dongwei Lv [et al.] [Электронный ресурс]. // Science direct URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389423014644 (дата обращения 23.02.2025)

4. Establishment of background pollution levels and spatial analysis of moss data on a regional scale. / Pablo Giraldez, Rosa M. Crujeiras, Angel Fernandez [Электронный ресурс]. // Science direct URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972203279X (дата обращения 24.02.2025)

5. *Borisenko, A. L.,Ryzhakova, N. K., Rogova, N. S.* Mosses as indicators of urban environmental pollution: Examples of pylaisia polyantha (HEDW.) B.S.G. from West Siberia Mosses: Ecology, Life Cycle and Significance, 2018, p 27–57

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

О. И. Родькин[1)], **Е. В. Зеленухо**[2)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aleh.rodzkin@rambler.ru*
[2)] *Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», пр-т Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, z_elena80@mail.ru*

Представлены результаты исследований по оценке выбросов твердых частиц при использовании комбинированного топлива, содержащего в своем составе фрезерный торф и биомассу (отходы растениеводства). Методом моделирования определены поля концентраций твердых частиц (недифференцированной по составу пыли) с учетом влияния состава композитного топлива. Показано, что увеличение процентного соотношения возобновляемого сырья в составе топлива обуславливает снижение его зольности и выбросов твердых частиц, а также приводит к уменьшению радиуса рассеивания загрязняющих веществ.

Ключевые слова: композитное топливо; биомасса; отходы растениеводства; выбросы твердых частиц; моделирование загрязнения; зольность топлива.

USE OF COMPOSITE FUEL AS A FACTOR OF REDUCING ENVIRONMENTAL LOAD

A. I. Rodzkin[1)], **A. V. Zelianukha**[2)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, aleh.rodzkin@rambler.ru*
[2)] *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus, z_elena80@mail.ru*

The results of studies assessing particulate matter emissions when using combined fuel containing milled peat and biomass (crop waste) are presented. Using the modeling method, the concentration fields of solid particles (dust undifferentiated by composition) were determined, taking into account the influence of the composition of the composite fuel. It has been shown that an increase in the percentage of renewable raw materials in the fuel composition leads to a decrease in its ash content and particulate emissions, as well as a reduction in the dispersion radius of pollutants.

Keywords: composite fuel; biomass; crop waste; particulate emissions; pollution modeling; fuel ash content.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-212-215

Энергетическая политика Республики Беларусь направлена на снижение потребления углеводородного сырья и укрепление национальной энергетической безопасности. Стратегической задачей отмечено максимальное вовлечение в топливно-энергетический баланс, помимо атомной энергии, собственных топливно-энергетических ресурсов, включая возобновляемые источники энергии. Среди возобновляемых источников в ближайшей перспективе для территории республики наиболее целесообразным представляется использование биомассы.

Биомасса представляет собой продукты, полностью или частично содержащие материалы растительного или животного происхождения, которые могут быть использованы в качестве топлива для получения энергии при их сжигании. Так, следует отметить, что к биомассе относятся отходы лесозаготовок и деревообработки, побочные продукты лесной и деревообрабаты-

вающей промышленностей, а также отходы сельскохозяйственной деятельности [1]. Использование для производства энергии биомассы, способствует декарбонизации хозяйственной деятельности, так как она является повторно воспроизводимым видом топлива, который поддерживает баланс CO2 в атмосфере.

В данной работе представлены результаты исследований по оценке выбросов твердых частиц при использовании комбинированного топлива, содержащего в своем составе фрезерный торф и биомассу (отходы растениеводства).

В Республике Беларусь ежегодно добывается от 1,2 до 3,2 млн. тонн фрезерного торфа, около 50 % которого используется на топливные нужды [2]. Это значительный вклад в энергобаланс страны, поэтому в ближайшей перспективе, с учетом разведанных запасов, торф останется основным видом местного топлива.

В структуре посевных площадей технических культур 77,9 % составляют рапс и лен. Солома рапса является отходом сельскохозяйственного растениеводства и соответственно не требует дополнительных площадей и затрат для выращивания. Необходимо отметить, что в настоящее время данный отход в основном используется в качестве органического удобрения путем измельчения и запашки. Валовой сбор рапса в сельскохозяйственных организациях республики в 2023 г. составил 863 тыс. т, что на 35 % больше по сравнению с 2019 г. (560 тыс. т). Также можно отметить и тенденцию увеличения посевных площадей рапса: в 2019 г. – 353 тыс. га, а в 2023 г. – 376 тыс. га [3]. Отходом растениеводства, в частности, переработки льнотресты является костра льна. Валовой сбор льна в хозяйствах всех категорий республики в 2023 г. составил 37 тыс. т [3]. Топливными свойствами обладает и солома зерновых культур. Однако, по экспертным оценкам на энергетические цели можно использовать около 20 % от годового объема её производства. Обусловлено это возможностью её использования в качестве корма скоту, для производства органических удобрений и других сельскохозяйственных целей.

Торф обладает значительной зольностью, что в свою очередь, обуславливает выбросы твердых частиц при его сжигании, содержание которых в сухих дымовых газах, приведенных к нормальным условиям согласно [4] не должно превышать 50 мг/м^3. Для снижения нагрузки на атмосферный воздух предлагается рассмотреть возможность использования топлива с улучшенными экологическими характеристиками, например, композитные брикеты на основе торфа с содержанием возобновляемого растительного сырья (соломы рапса, соломы зерновых и льнокостры) в количестве 25 %, 50 % и 75 % от их массы.

Методом моделирования были определены поля концентраций твердых частиц (недифференцированной по составу пыли) с учетом влияния состава композитного топлива на основе торфа и биомассы. Распределение изолиний и поля концентраций были получены при использовании программного комплекса для оценки загрязнения воздушного бассейна серии «Эколог». Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог» реализует положения «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» Госкомгидромета. При использовании программного комплекса «Эколог» учитывались метеорологические параметры территории размещения источника выбросов твердых частиц, а также значения фоновых концентраций данных загрязняющих веществ.

Для построения графического материала использовались результаты определения массовых выбросов твёрдых частиц (недифференцированной по составу пыли), образующихся при сжигании композитного топлива на основе торфа с различным содержанием биомассы (25 %, 50 % и 75 %) в котельных установках расчетным путем в соответствии с [5].

В качестве исходных данных для расчета массовых выбросов твердых частиц были использованы результаты ранее проведенных исследований основных топливных характеристик биомассы (льнокостры, соломы рапса и соломы зерновых) и торфа, таких как низшая теплота сгорания и зольность (табл. 1). При определении топливных характеристик композитного топли-

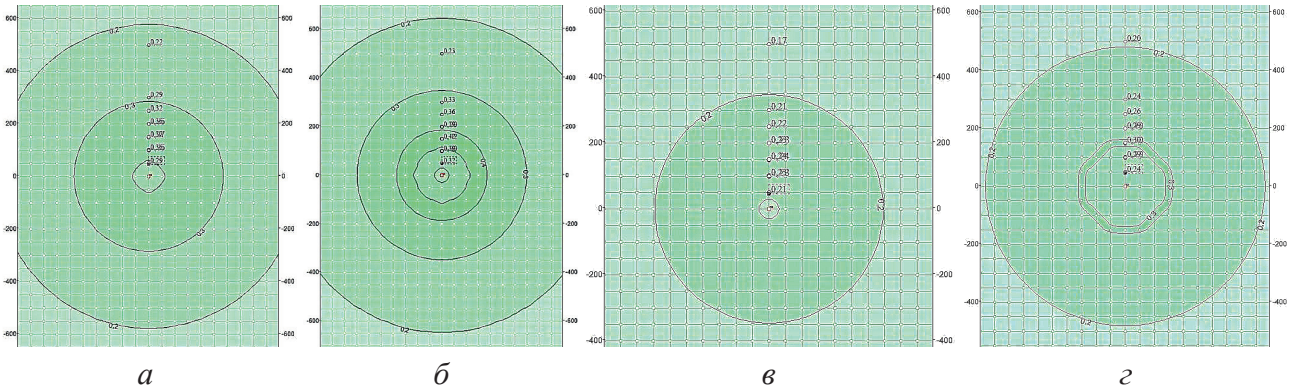
ва учитывалось, что изменение низшей теплоты сгорания и зольности имеет линейную зависимость (подтверждено экспериментально результатами ранее проведенных исследований), т.е. их изменение происходит согласно процентному соотношению компонентов в составе топлива [6].

Таблица 1

Основные топливные характеристики композитного топлива

Вид биомассы	Содержание биомассы в композитных брикетах, масс. %	Теплота сгорания композитного топлива, МДж/кг	Зольность композитного топлива, %	Массовые выбросы твердых частиц при использовании композитного топлива, г/с
Солома рапса	25	14,20	7,9	1,139
	50	14,71	6,8	0,907
	75	15,23	5,7	0,684
Солома зерновых	25	14,11	8,3	1,166
	50	14,54	7,6	0,961
	75	14,97	6,8	0,764
Льнокостра	25	14,41	7,3	1,089
	50	15,15	5,6	0,817
	75	15,88	3,9	0,561

Метеорологические характеристики и коэффициенты, необходимые для проведения расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере (средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого и холодного месяца, скорость ветра), значения фоновых концентраций были приняты по данным ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды». Расчеты полей приземных концентраций твердых частиц проведены в условном расчетном прямоугольнике 1000×500 м с шагом расчетной сетки 50×50 м. Результаты моделирования полей концентраций твёрдых частиц в приземном слое атмосферного воздуха для зимнего периода на примере использования фрезерного торфа и композитного топлива (торф/солома рапса) с содержанием соломы рапса в составе (25 %, 50 % и 75 %) представлены на рисунке 1.



а *б* *в* *г*

Рис. 1. Результаты моделирования поля концентраций твёрдых частиц (недифференцированной по составу пыли) в приземном слое атмосферного воздуха при использовании композитного топлива (торф/солома рапса): *а* –фрезерный торф;
б – содержание соломы рапса в композитном топливе 25 %;
в – содержание соломы рапса в композитном топливе 50 %;
г – содержание соломы рапса в композитном топливе 75 %

В качестве технологических рекомендаций для снижения нагрузки на атмосферный воздух предприятий, использующих местные виды топлива, предлагается использовать композитное топливо с более высоким процентным соотношением возобновляемого сырья. Это способствует уменьшению зольности твердого топлива, а, следовательно, и снижению выбросов твердых частиц.

Библиографические ссылки

1. ЭкоНиП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха». [Электронный ресурс] // https://www.ecoinfo.by/. (дата обращения: 12.02.2025.

2. *Родькин О. И., Зеленухо Е. В.* Оценка перспективы снижения экологического воздействия на окружающую среду при использовании биотоплива. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию создания факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ «География, экология, туризм: новые горизонты исследований», г. Воронеж, 2024. с. 82-87.

3. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический буклет. Мн., 2024. 36 с.

4. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности». [Электронный ресурс] // https://www.ecoinfo.by/. (дата обращения: 10.02.2025.

5. ТКП 17.08-01-2006 Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт, Минск, 2006. 52 с.

6. *Родькин О. И., Зеленухо Е. В.* Использование отходов растениеводства в качестве компонентов композитного топлива. Сборник материалов 23-й международной научной конференции «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века». Минск: МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 2023. Т. 2 с. 233–236.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ТОКСИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ШАХТЕРСКИХ ГОРОДАХ КУЗБАССА

Н. К. Рыжакова[1)], **К. А. Тайлашева**[1)]

[1)] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», пр. Ленина, 30, 634050, г. Томск, Россия, kat14@tpu.ru*

В работе проведен анализ результатов активного биомониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы шахтерских городов Кемеровской области наиболее токсичными металлами. В качестве биоиндикатора использован эпифитный мох Pylaisia polyantha; определение содержания металлов в образцах мхов проведено методами нейтронно-активационного анализа и атомно-эмиссионной спектрометрии. На основе результатов исследования построены пространственные распределения уровней загрязнения токсичных металлов, выявлены их источники. Уровень загрязнения определяется как отношение концентрации загрязняющего вещества в образце мха, экспонированном на исследуемой территории, к концентрации этого вещества в образце мха, экспонированном на чистом участке.

Ключевые слова: биомониторинг; токсичные металлы; предприятия угольной промышленности; загрязнение атмосферного воздуха.

POLLUTION OF NEAR-SURFACE ATMOSPHERE WITH TOXIC METALS IN MINING TOWNS OF KUZBASS

N. K. Ryzhakova[1)], **K. A. Tailasheva**[1)]

[1)] *National Research Tomsk Polytechnic University, Lenina ave., 30, 634050, Tomsk, Russia, kat14@tpu.ru*

The paper analyzes the results of active biomonitoring of near-surface atmospheric pollution by the most toxic metals in mining towns of the Kemerovo region. The epiphytic moss Pylaisia polyantha was used as a bioindicator. The metal content in moss samples was determined using neutron activation analysis and atomic emission spectrometry. Based on the research results, spatial distributions of toxic metal pollution levels were constructed, and their sources were identified. The pollution level is defined as a ratio of the pollutant concentration in the moss sample exposed in the studied area to that in the moss sample exposed in a clean area.

Keywords: biomonitoring; toxic metals; coal industry enterprises; atmospheric air pollution.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-216-220

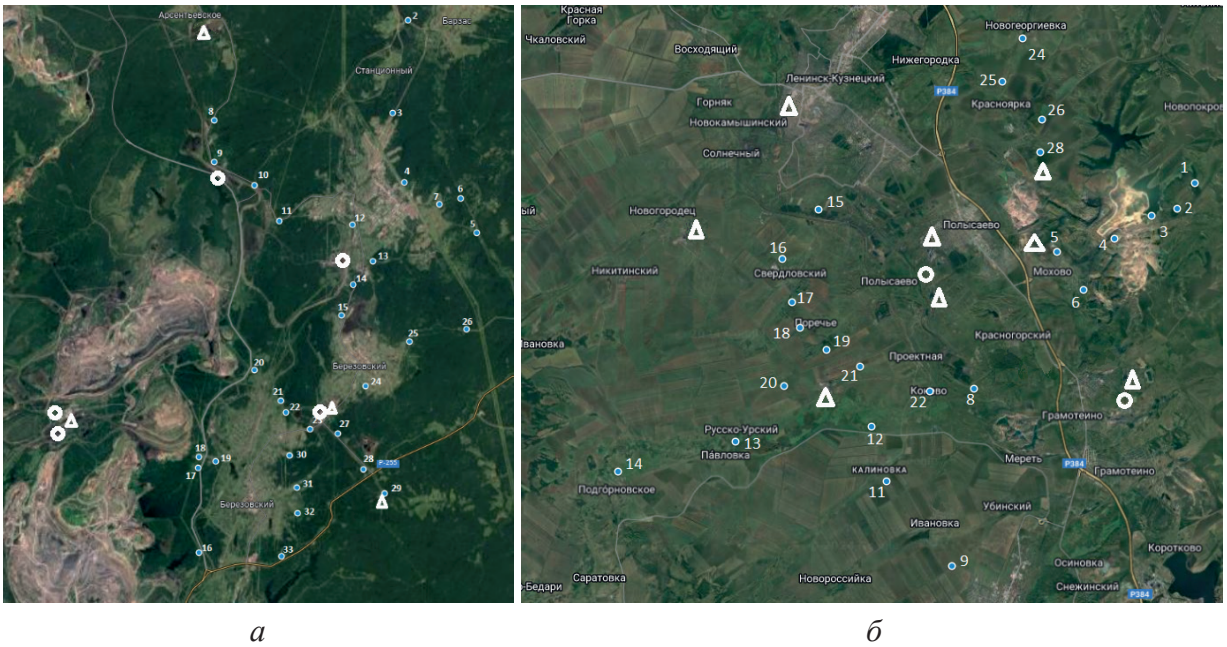
Угледобыча является основной отраслью промышленной специализации Кемеровской области. В результате деятельности шахт, разрезов, обогатительных фабрик происходит загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными выбросами, содержащими в значительных количествах токсичные металлы [1-3]. Некоторые жизненно необходимые микроэлементы, такие как Fe, Co, Ni, Mn, Cu, Mo, Se, Cr, Zn, включаются в списки токсичных при условии длительного воздействия на организм человека [4]. Высокие концентрации некоторых из перечисленных элементов были определены в данном исследовании. В больших количествах на исследуемых территориях был обнаружен U, который вместе с продуктами распада оказывает токсичное и радиационное воздействие. Также в некоторых точках наблюдения были обнаружены высокие концентрации редкоземельных металлов Lu, Nd и Eu, относящихся к малоизученным микроэлементам.

Целью исследования является изучение и сравнительный анализ уровней загрязнения приземного слоя атмосферы токсичными металлами в городах Березовский и Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области, на территории которых расположены многочисленные предприятия угольной промышленности.

Исследование проведено методом активного биомониторинга с помощью эпифитного мха [5; 6], который подразумевает размещение подготовленных образцов мха на исследуемой территории. Метод мхов-биоиндикаторов обеспечивает времена экспозиции, достаточные для оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха металлами. В качестве ПДК используется природное содержание металлов во мхах, измеренное в фоновых образцах.

На территории г. Березовского в июне 2022 г. были размещены образцы эпифитного мха Pylaisia polyantha в 33 точках (рис. 1, а); 3 фоновых образца были размещены в д. Медынино (Кемеровская область). В окрестностях г. Березовского расположены шахты «Березовская», «Южная», «Первомайская»; обогатительные фабрики «Березовская», «Барзасское товарищество», «Черниговская», «Черниговская-Коксовая», «Северная»; угольные разрезы «Черниговский» и «Кедровский».

На территории г. Ленинск-Кузнецкого образцы мха были размещены в мае 2023 г. в 28 точках (рис. 1, б); 3 образца были размещены на фоновой территории в д. Новоборачаты (Кемеровская область). В окрестностях г. Ленинск-Кузнецкого действуют шахты «Алексиевская», «Байкамская», «Заречная», «Октябрьская», «Шахта им. С.Д. Тихова», «Костромовская», «Шахта им. С.М. Кирова», «Листвяжная»; обогатительные фабрики «Спутник», «Листвяжная»; угольные разрезы «Моховский» и «Сартакинский».



а *б*

Рис. 1. Схема расположения точек размещения образцов мха (треугольник – шахта, круг – обогатительная фабрика): *а* – г. Березовский; *б* – г. Ленинск-Кузнецкий

Период экспозиции для г. Березовского составил 4 месяца, для г. Ленинск-Кузнецкого – 5 месяцев, после чего был проведен сбор образцов. Концентрации металлов в образцах мхов определены с помощью нейтронно-активационного анализа (НАА) и атомно-эмиссионной спектрометрии (АЭС). Погрешность определения для НАА не превышает 10-15 %, для АЭС – (20-40) %. Результаты измерений представлены в таблице. Значения концентраций Al, As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Se были получены с помощью АЭС. Значения концентраций Ba, Co, Cr, Eu, Fe, Hf, Lu, Mo, Nd, Sb, Sm, Sr, U, Zn были определены методом НАА.

Минимальные, максимальные, средние, фоновые значения концентраций, мкг/г

Элемент	Мин./макс.	Сред./фон.	Мин./макс.	Сред./фон.
	г. Березовский		г. Ленинск-Кузнецкий	
Al	1072/3339	1850/1386	1085/12352	2776/1651
As	0,37/2,21	1,23/0,45	0,55/25,9	5,1/1,7
Ba	230,6/955,6	428,4/193,0	460,0/1535	863,3/601,5
Cd	0,15/3,54	0,56/0,15	0,17/2,21	0,49/0,40
Co	1,53/4,57	2,38/0,98	12,8/178,7	40,05/32,86
Cr	4,34/13,58	7,32/4,20	4,08/22,74	9,24/8,48
Cu	4,22/20,9	6,60/4,16	7,83/101,32	22,65/10,7
Eu	0,08/1,17	0,34/0,10	0,06/1,11	0,24/0,14
Fe	1174/4905	2727/1518	637,7/8490	2259/996,6
Hf	0,49/1,50	0,83/0,34	0,25/8,31	1,37/0,38
Lu	0,02/0,23	0,08/0,02	0,01/0,35	0,06/0,02
Mn	418/1226	745/486	389,5/1123	693,5/773,0
Mo	0,15/5,30	2,19/0,19	0,01/0,24	0,10/0,004
Nd	0,55/5,10	2,17/0,88	0,42/8,96	2,50/1,10
Ni	3,2/8,4	5,6/5,1	2,36/9,26	5,37/5,9
Pb	2,28/6,91	4,63/3,21	3,08/9,40	5,29/5,7
Sb	0,33/3,03	1,37/0,22	0,10/1,80	0,63/0,23
Se	0,07/5,03	0,76/0,22	-	-
Sm	0,11/0,99	0,36/0,18	0,11/2,84	0,72/0,08
Sr	107,1/902,5	283,5/115,0	92,7/294,8	184,7/144,4
U	0,02/1,10	0,34/0,04	0,11/3,52	0,69/0,20
Zn	122,3/392,6	201,5/80,0	114,4/499,6	221,4/195,6

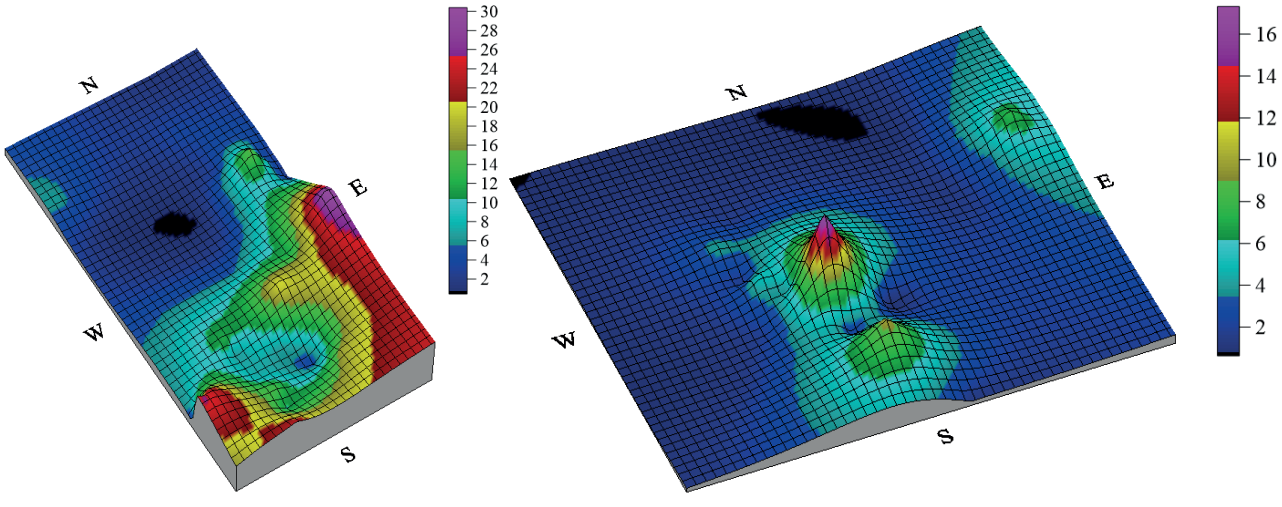
На обеих исследуемых территориях концентрации Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb в подавляющем большинстве точек не превышают значимо фоновые значения, однако высокие концентрации Ba обнаружены в точках рядом с угольными разрезами и обогатительными фабриками.

Практически во всех точках размещения мхов-биоиндикаторов обнаружен высокий уровень загрязнения Mo: в г. Березовском наблюдается превышение фона до 27 раз, в г. Ленинск-Кузнецком – до 60 раз. Следовательно, источниками этого токсичного металла являются все предприятия угольной промышленности, расположенные на территориях исследуемых городов. Наиболее высокие концентрации U, до 30 раз превышающие фоновые, также обнаружены на территориях, прилегающих к шахтам, обогатительным фабрикам, угольным разрезам в обоих городах.

В зонах влияния обогатительных фабрик г. Березовского концентрации Se, Sr и Zn превышают фон в 4-8 раз. Концентрации As, Cd, Co, Lu, Sb превышают фоновые значения в 4,5 и более раз на южной части территории. На отдельных участках вблизи шахт, угольных разрезов и обогатительных фабрик, также расположенных в основном на южной части, наблюдаются высокие концентрации Eu и Nd, до 6 раз превышающие фон. Наибольшие концентрации Co и Sb в г. Березовском обнаружены вблизи угольных разрезов и обогатительных фабрик; Sr – вблизи обогатительных фабрик. Концентрации Sm и Hf не отличаются значимо от фоновых в большинстве точек размещения образцов.

В г. Ленинск-Кузнецком концентрации Sm на порядок превышают фон в точках, находящихся рядом с шахтами; концентрации Hf, Lu, Sb выше фона в несколько раз в большинстве точек размещения мхов. Наиболее загрязненной является территория, прилегающая к угольному разрезу «Моховский»: в образцах мха, экспонированных в точках 1-6, обнаружены высокие концентрации большинства элементов. Однако значимо отличающихся от фоновых концентраций элементов As, Cd, Co, Eu, Nd, Sr, Zn в большинстве точек размещения образцов в г. Ленинск-Кузнецком обнаружено не было.

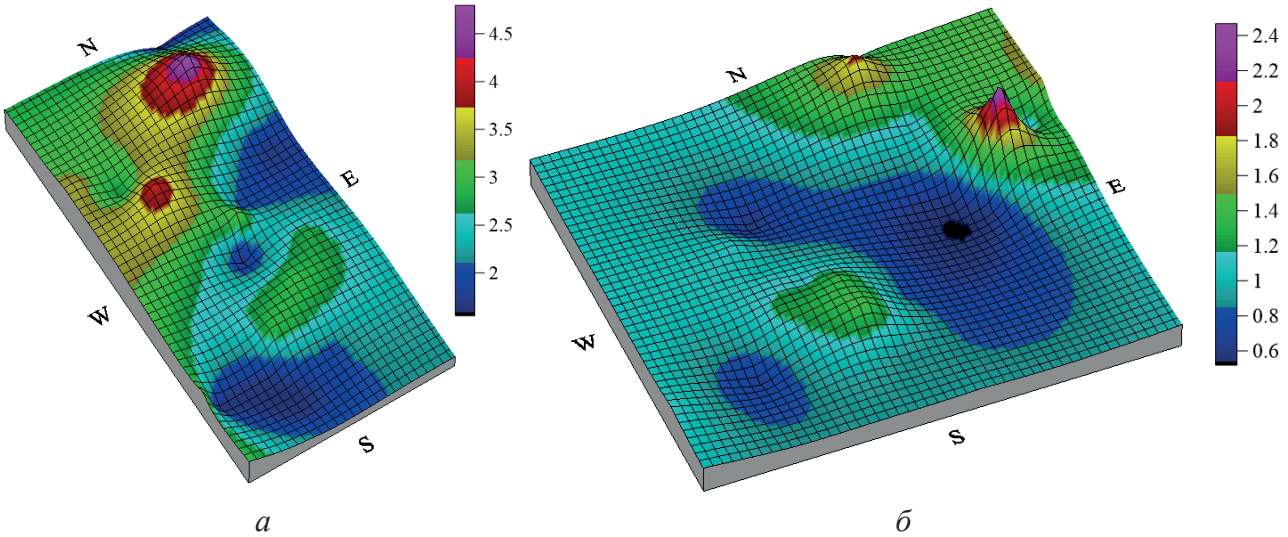
По большему количеству токсичных металлов атмосферный воздух в г. Березовском более загрязнен, чем в г. Ленинск-Кузнецком. Например, в воздухе г. Березовского наблюдается значительно более высокое содержание U (рис. 2), обладающего сильным токсическим и канцерогенным действием.



а *б*

Рис. 2. Уровень загрязнения U:
а – г. Березовский; *б* – г. Ленинск-Кузнецкий

В г. Березовском наблюдается также более высокий по сравнению с г. Ленинск-Кузнецким уровень загрязнения Ba, Cd, Co, Eu, Lu, Nd, Sb, Sr и Zn (рис. 3).



а *б*

Рис. 3. Уровень загрязнения Zn:
а – г. Березовский; *б* – г. Ленинск-Кузнецкий

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Березовского токсичными металлами скорее всего объясняется тем, что в отличие от г. Ленинск-Кузнецкого в этом городе расположены большие по территории угольные разрезы, где уголь добывается открытым способом.

Основные результаты исследования состоят в следующем: 1. В атмосферном воздухе г. Березовского обнаружено более высокое содержание Ba, Cd, Co, Eu, Lu, Nd, Sb, Sr, Zn и U, чем в воздухе г. Ленинск-Кузнецкого. Основными источниками токсичных металлов для этого города являются угольные разрезы. 2. Наибольший вклад в загрязнение приземного слоя атмосферы г. Березовского вносят Mo, Sb и U. 3. Наибольший вклад в загрязнение приземного слоя атмосферы г. Ленинск-Кузнецкого вносят Mo, источниками которого являются все предприятия угольной промышленности, и Sm, источниками которого являются шахты, находящиеся в большом количестве на территории этого города.

Библиографические ссылки

1. *Шутько Л. Г., Самородова Л. Л.* Влияние угледобывающей промышленности Кузбасса на здоровье населения региона // Уголь. 2021. № 9 (1146). С. 46–50.

2. *Yudovich Ya. E., Ketris M. P.* Geochemistry of Coal. Occurrences and Environmental Impacts of Trace Elements // Coal Production and Processing Technology. Boka Raton: CRC Press. 2015. P. 48–73.

3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области Кузбасса в 2020 году [Электронный ресурс]. URL: https://ako.ru›upload/medialibrary/a7b/doklad_2020.pdf (дата обращения: 03.02.2025).

4. *Скальный А. В., Рудаков И. А.* Биоэлементы в медицине. 2004.

5. *Rogova N. S., Ryzhakova N. K., Borisenko A. L*. Effect of placement conditions for active monitoring of trace element with the epiphytic moss // Environmental monitoring and assessment. 2018. Vol. 190. P. 1–11.

6. *Borisenko A. L., Ryzhakova N. K., Rogova N. S.* Mosses as indicators of urban environmental pollution: Examples of Pylaisia polyantha (Hedw.) BSG from West Siberia // Mosses: Ecology, Life Cycle and Significance. 2018. P. 27–57.

ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА (ZnO) ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ В ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ИНТЕНСИВНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Н. А. Савастенко[1)], В. А. Люшкевич[2)], И. И. Филатова[2)], М. П. Шимбалева[1)], С. А. Маскевич[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nataliesavastenko@iseu.by*
[2)] *Институт физики НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, filatova@presidium.bas-net.by*

Изучено влияние воздействия плазмы диэлектрического барьерного разряда (ДБР) на оптические свойства фотокатализаторов на основе оксида цинка (ZnO).

Ключевые слова: фотокатализатор; оксид цинка; ZnO; фотодеградация; фотолюминесценция; обработка в плазме; диэлектрический барьерный разряд; допирование; наночастицы серебра; Ag; плазмонные наночастицы; процессы интенсивного окисления; ПИО

EFFECT OF PLASMA TREATMENT ON OPTICAL PROPERTIES OF PHOTOCATALYSTS BASED ON ZINC OXIDE (ZnO) FOR REMOVAL OF ORGANIC POLLUTANTS IN AQUEOUS MEDIA IN ADVANCED OXIDATION PROCESSES

N. A. Savastenko[1)], V. A. Lyushkevich[2)], I. I. Filatova[2)], M. P. Shymbalioua[1)], S. A. Maskevich[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nataliesavastenko@iseu.by*
[2)] *B.I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, filatova@presidium.bas-net.by*

The influence of dielectric barrier discharge (DBD) plasma on the optical properties of zinc oxide (ZnO)-based photocatalysts has been studied.

Keywords: photocatalysts; zinc oxide; ZnO; photodegradation; photoluminescence; plasma treatment; dielectric barrier discharge; doping; silver nanoparticles; Ag; plasmonic nanoparticles; Advanced Oxidation Processes; AOPs

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-221-225

В настоящее время все большее значение приобретает разработка новых ресурсосберегающих технологий, что применительно к проблеме удаления растворенных органических веществ из водных сред, означает, в первую очередь, создание высокоэффективных катализаторов, применяемых в процессе очистки водных сред методом фотодеградации.

Существенным источником поступления органических примесей в сточные воды являются отходы предприятий, использующих в технологических процессах органические красители (текстильное, кожевенное и др. производства) [1]. В последние годы также значительно воз-

рос интерес к исследованию нетрадиционных загрязнителей, так называемых, загрязняющих веществ, вызывающих растущую озабоченность (contaminants of emerging concern, CECs) [2], к которым относят органические компоненты сточных вод различной природы, способные нанести существенный вред экосистеме при попадании в поверхностные воды. Среди источников CECs наиболее значимыми являются фармакологические отходы [2]. Попадающие в окружающую среду концентрации фармакологических отходов кажутся незначительными (от нг/л до мг/л), однако из-за ежегодного накопления воздействие их на окружающую среду и на человека может оказаться опасным с точки зрения появления резистентности к антибиотикам, мутаций ДНК, онкологических заболеваний [3].

Поскольку продукты разложения некоторых веществ, попадающих в водные среды с промышленными и фармакологическими отходами, относятся к веществам, способным вызывать онкологические заболевания и мутации ДНК, то повышение эффективности существующих и поиск новых способов удаления вредных примесей из водных сред является одной из актуальных научных задач.

К настоящему времени разработан ряд методов очистки воды, основанных на явлении обратного осмоса, фильтрации, абсорбции на активированном угле, озонировании, хлорировании, разложении с использованием перекиси водорода или перманганата калия и т.д. [4]. Однако перечисленные методы или недостаточно эффективны или имеют высокую эксплуатационную стоимость. Перспективным методом очистки воды от органических примесей является фотокатализ под действием излучения ультрафиолетового и (или) видимого диапазона с использованием полупроводниковых материалов. Привлекательность фотокатализа как метода удаления органических примесей обусловлена, прежде всего, тем, что конечными продуктами реакции разложения являются углекислый газ, вода и соли. Несмотря на очевидные преимущества фотокатализа, эффективность существующих катализаторов недостаточно высока для широкого применения фотокаталитических технологий в промышленных масштабах. Поэтому создание новых фотокаталитических систем и модификация уже существующих катализаторов является актуальной задачей.

На сегодняшний день наиболее известными фотоактивными материалами для разложения органических примесей в водных средах являются диоксид титана (TiO_2) и оксид цинка (ZnO), причем оксид цинка рассматривается как более перспективный и дешевый материал.

Несмотря на достигнутые в последние годы успехи в области разработки фотокатализаторов, широкое применение в фотокатализе ZnO и TiO_2 существенным образом ограничено недостаточно высокой скоростью реакции фотодеградации органических веществ в присутствии этих катализаторов и требуемым для протекания реакций фотодеградации спектральным диапазоном излучения (290-400 нм). Последнее существенным образом ограничивает перспективу использования солнечного света при организации фотокаталитического разложения органических примесей в промышленных масштабах, поскольку на данный диапазон приходится не более 6 % энергии, получаемой от Солнца. Поэтому одной из актуальных задач в фотокатализе является разработка способов синтеза более эффективных фотокатализаторов, либо катализаторов, активных при поглощении видимого света.

Использование полупроводниковых фотокатализаторов для разложения органических примесей под действием ультрафиолетового или видимого света происходит в результате фотокаталитических процессов интенсивного окисления. В англоязычной литературе они получили название Advanced Oxidation Processes (AOPs). Процессы интенсивного окисления проходят с участием частиц с высокой реакционной способностью, в частности, с гидроксильными радикалами (OH-радикалами), и позволяют проводить разложение токсичных органических примесей до элементарных неорганических элементов, CO_2, HO_2, неорганических солей. Процессы интенсивного окисления рассматриваются как наиболее эффективный метод очистки водных сред от органических примесей, особенно в случаях, когда загрязняющие вещества,

например, фармакологические отходы, являются светостойкими, биостойкими и не могут быть удалены биологическими методами.

Повышение активности фотокатализаторов на основе оксида цинка и диоксида титана может быть достигнуто при их допировании атомами или наночастицами различных элементов в сочетании с плазменной обработкой [5-7].

Однако механизм влияния допирующих элементов в сочетании с плазменным воздействием на изменение активности полупроводниковых материалов в фотокаталитических гетерогенных реакциях до конца не ясен. Одним из наиболее важных вопросов является механизм влияния допирующих примесей на процесс рекомбинации фотоиндуцированных носителей заряда. В ряде работ выявлена связь между повышением фотокаталитической активности полупроводниковых материалов и изменением их спектров фотолюминесценции.

В настоящей работе проанализировано изменение спектров фотолюминесценции под воздействием плазмы диэлектрического барьерного разряда на фотокатализаторы на основе оксида цинка.

Подробное описание методов получения исследуемых фотокаталитических материалов, а именно – синтез допированных наночастицами серебра композитных фотокатализаторов, и их обработка в плазме диэлектрического барьерного разряда подробно описана в предыдущих работах [5; 7]. Допированные атомами алюминия (Al) фотокатализаторы на основе ZnO также были синтезированы в Казахском национальном университете им. аль-Фараби гидротермальным методом. Гидротермальный синтез образцов проводился при температуре 90°C с использованием смеси растворов уротропина и нитрата цинка при равных концентрациях реагентов (0,3 М) и хлорида алюминия концентрации 2 ат% (образец $ZnO_{гидр}$-1) и 4 ат% (образец $ZnO_{гидр}$-2). Длительность синтеза составляла 2 часа.

Измерения фотолюминесцентных (ФЛ) свойств синтезированных образцов до и после обработки в плазме проводили с помощью модернизированного измерительного комплекса СДЛ-2 (ЛОМО, СССР) с источником возбуждения – ксеноновой лампой ДКсШ-120. Во время проведения измерений осуществляли сканирование по спектру испускания (при фиксированной длине волны возбуждения) и сканирование по спектру возбуждения (варьировали длину волны возбуждения и регистрировали изменение интенсивности испускания света с фиксированной длиной волны). Длина волны возбуждающего излучения составляла 300 нм, спектр испускания регистрировали в диапазоне 350–750 нм. Исследования флуоресценции образцов проводились при комнатной температуре.

На рис. 1а-1в представлены спектры возбуждения фотолюминесценции фотокатализаторов на основе ZnO: химически немодифицированного, допированного атомами алюминия различной концентрации и импрегнированного наночастицами серебра до и после воздействия плазмы. На рис. 1г-1е представлено изменение спектров фотолюминесценции этих же образцов после воздействия плазмы. Как видно из рис. 1г-1е, обработка в плазме диэлектрического барьерного разряда и химическая модификация исходного катализатора приводит к существенному изменению спектров флуоресценции. Обработка в плазме диэлектрического барьерного разряда немодифицированного катализатора ZnO (рис. 1г) приводит к увеличению интенсивности фотолюминесценции в ближней ультрафиолетовой области (вблизи 385 нм). Также незначительно увеличивается интенсивность в видимой области спектра (максимальное значение интенсивности достигается при 530 нм). Однако, отношение интенсивности фотолюминесценции в ультрафиолетовой области к интенсивности фотолюминесценции в видимой области возрастает после обработки катализатора в плазме. Уменьшение интенсивности фотолюминесценции в видимой области спектра может быть обусловлено уменьшением дефектов на поверхности фотокатализатора, что является одной из причин повышения его каталитической активности [8].

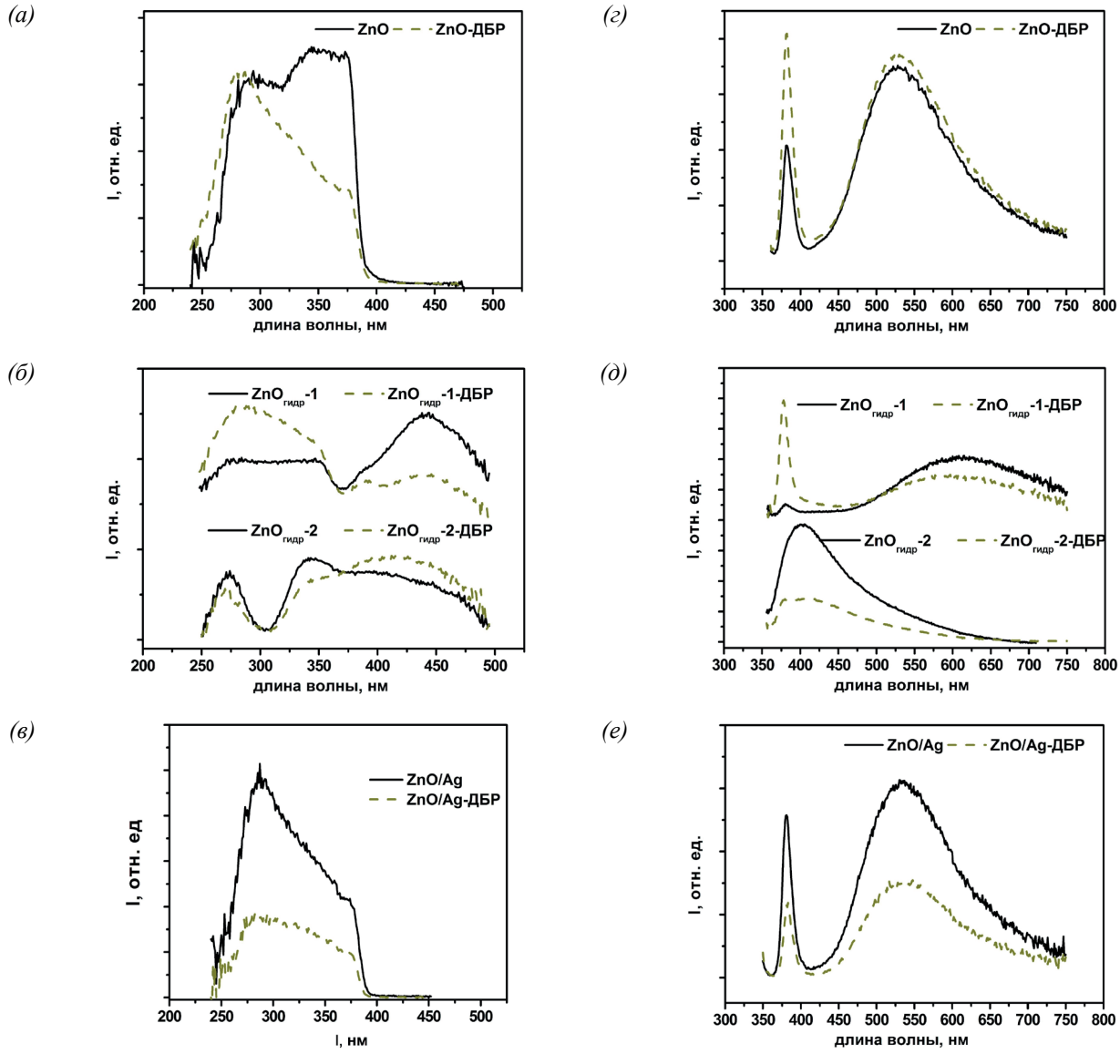


*Рис. 1.*Спектры фотолюминесценции фотокатализаторов на основе ZnO (*а-в*) -- спектры возбуждения фотолюминесценции; и (*г-д*) -- спектры фотолюминесценции фотокатализаторов на основе ZnO: химически немодифицированных (*а,г*), допированных атомами алюминия различной концентрации (*б, д*) и допированных наночастицами серебра (*в, е*) до (сплошная линия) и после (пунктирная линия) обработки в плазме.
Составлено с использованием данных [5-9]

Как следует из [9], обработка в плазме катализаторов, допированных атомами Al, приводит к увеличению фотокаталитической активности примерно в 1,5 раза для обоих образцов, допированных атомами Al. Однако, корреляции повышения активности материалов с характером изменением спектров фотолюминесценции не наблюдается (рис.1д): интенсивность фотолюминесценции в ультрафиолетовой области увеличилась при обработке в плазме образца $ZnO_{гидр}$-1 и уменьшилась для образца $ZnO_{гидр}$-2.

Обработка в плазме фотокатализаторов, допированных плазмонными наночастицами серебра, не изменяет отношения интенсивностей фотолюминесценции в ультрафиолетовой и видимой областях, хотя активность фотокатализаторов, допированных плазмонными наночастицами, увеличивается приблизительно в 3 раза после воздействия плазмы [7; 8].

Таким образом, характер изменения спектров фотолюминесценции немодифицированных фотокатализаторов на основе ZnO и химически модифицированных материалов путем допи-

рования атомами Al или наночастицами серебра после воздействия плазмы свидетельствует о том, что только для немодифицированных материалов, подвергнутых плазменной обработке, наблюдается четкая корреляция между повышением активности материалов и наблюдаемыми изменениями в спектрах фотолюминесценции. В остальных случаях на фотокаталитическую активность влияет совокупность факторов (например, появление примесных уровней вследствие допирования, изменение морфологии поверхности в случае допирования в процессе синтеза и т. д.), что затрудняет выявление однозначной зависимости между интенсивностью фотолюминесценции и фотокаталитической активностью.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов». Авторы благодарят М. Т. Габдуллина (АО «Казахстанско-Британский технический университет»), Т. С. Рамазанова (Казахский национальный университет им. аль-Фараби), Х. А. Абдуллина, Ж. К. Калкозову (Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби) за предоставленные для исследований образцы катализаторов, синтезированных гидротермальным методом.

Библиографические ссылки

1. *Zhang T.* Heterogeneous catalytic process for wastewater treatment : Advanced oxidation processes. Ed. by C. Bustillo-Lecompte. London, 2020. – P. 17–46.

2. Occurrence, distribution, and seasonality of emerging contaminants in urban watersheds / X. Bai [et al.] // Chemosphere. 2018. Vol. 200. P. 133–142.

3. *Pereira L., Alves M.* Dyes – environmental impact and remediation : Environmental protection strategies for sustainable development. Ed.: A. Malik, E. Grohmann. Dordrecht, 2022. P. 111–162.

4. An overview of photocatalytic degradation: photocatalysts, mechanisms, and development of photocatalytic membrane / W. S. Koe [et al.] // Environmental Science a. Pollution Research Intern. 2020. Vol. 27, iss. 3. P. 2522–2565.

5. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. 2020. V. 24. № 4. P. 275-291.

6. Plasma-assisted synthesis of polymer-capped dye-sensitized TiO2-based photocatalysts for methyl orange and caffeine photodegradation / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. 2021. V. 25. № 3. P. 59-74.

7. Effect of DBD-plasma treatment on activity of ZnO-based photocatalysts impregnated with silver nanoparticles / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. 2022. V. 26. № 6. P. 25-42.

8. *Савастенко Н. А.* Плазменные методы синтеза и модификации каталитически активных нано- и микродисперсных материалов : автореф. дис. на соискание степени д-ра физ.-мат. наук : 01.04.08 / Ин-т физики НАН Беларуси. Минск, 2024. 49 с.

9. Оптические и структурные свойства фотокатализаторов на основе ZnO / Н.А. Савастенко [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. 2016. № 2. С. 57–67.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СИНТЕЗ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ В ЖИДКОСТИ

Н. А. Савастенко[1)], Е. А. Невар[2)], А. В. Буцень[3)], М. П. Шимбалева[1)], Е. В. Федоренчик[1)], Н. В. Тарасенко[2)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nataliesavastenko@iseu.by*
[2)] *Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости, 68-2, 220072, г. Минск, Беларусь, a.nevar@ifanbel.bas-net.by*
[3)] *Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь, a.butsen@gmail.com*

Медьсодержащие наночастицы были синтезированы методом импульсной лазерной абляции на длине волны 1064 нм металлической медной мишени в водном растворе додецилсульфата натрия (ДСН). Используемый метод соответствует концепции «зеленой химии». Синтезированный материал был подвергнут воздействию лазерного излучения на длине волны 532 нм для исследования влияния излучения на морфологию коллоидных наночастиц. Изменения в морфологии наночастиц были исследованы методом оптической абсорбционной спектроскопии.

Ключевые слова: медьсодержащие наночастицы; оксиды меди; Cu; CuO; Cu_2O; Cu_xO; плазмонные наночастицы; лазерная плазма; импульсная лазерная абляция (ИЛА); лазерно-абляционный синтез в растворе

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SYNTHESIS OF COPPER CONTAINING NANOPARTICLES VIA PULSED LASER ABLATION IN LIQUID

N. A. Savastenko[1)], A. A. Nevar[2)] , A. V. Butsen[3)], M. P. Shymbalioua[1)], H. V. Fedorenchik[1)], N. V. Tarasenko[2)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nataliesavastenko@iseu.by*
[2)] *Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Nezavisimosti Ave. 68-2, 220070, Minsk, Belarus, a.nevar@ifanbel.bas-net.by*
[3)] *Belarusian State Technological University, Sverdlov str., 13a, 220006, Minsk, Belarus, a.butsen@gmail.com*

The copper-containing nanoparticles were prepared by laser ablation at 1064 nm of a copper metal plate under water in the presence of aqueous solution of sodium dodecyl sulfate (SDS). This method corresponds to the concept of Green Chemistry. Synthesized material was subjected to laser-induced modification to investigate the effect of irradiation on the morphology of the colloidal nanoparticles. Changes in the nanoparticles' morphology were monitored by UV-visible (UV-Vis) absorption spectroscopy.

Keywords: copper containing nanoparticles; copper oxide; Cu; CuO; Cu_2O; Cu_xO; plasmonic nanoparticles; laser produced plasma; pulsed laser ablation (PLA); laser ablation synthesis in solution (LASiS)

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-226-230

Применение наночастиц в различных областях науки и техники обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами, адаптируемостью характеристик путем изме-

нения их формы и размера, а также, в ряде случаев, «улучшенными» функциональными свойствами по сравнению с объемным материалом [1-6]. Наночастицы (НЧ) используют для очистки водных сред от загрязнителей органической природы [3], при мониторинге окружающей среды [4], в качестве пищевых добавок [5], противомикробных средств, антибактериальных материалов [6] и т. д. НЧ применяются для таргетированной доставки лекарственных средств [7], фототермической и фотодинамической терапии онкологических заболеваний [8, 9], для создания различных сенсоров, включая биосенсоры [10]. Одним из наиболее распространённых методов получения наночастиц является метод химического восстановления, позволяющий получать высококонцентрированные коллоидные растворы наночастиц. При этом в процессе синтеза используют токсичные вещества, представляющие опасность для окружающей среды [11].

Для синтеза наноматериалов наряду с химическими используют физические методы, в которых процесс формирования наночастиц основан на физическом воздействии. К таким методам относится импульсная лазерная абляция в жидкости (ИЛА), имеющая ряд преимуществ по сравнению с химическими методами: минимальное использование растворителей и прекурсоров, возможность варьирования химического состава наночастиц в широком диапазоне путем сочетания различных жидкостей и мишеней, изменение морфологии наночастиц путем изменения параметров лазерного излучения: длины волны излучения, длительности импульса, плотности мощности излучения, сфокусированного на мишени и т. д. [12]. Получение НЧ методом ИЛА соответствует двенадцати принципам «зеленой химии» и является экологически безопасным [13].

В настоящей работе для синтеза медьсодержащих наночастиц использована лазерная плазма, создаваемая при фокусировке лазерного излучения на поверхность мишени – медной пластинки, погруженной в водный раствор додецилсульфата натрия (ДСН, $C_{12}H_{25}NaO_4S$). Схематическое изображение экспериментальной установки представлено на рисунке 1.

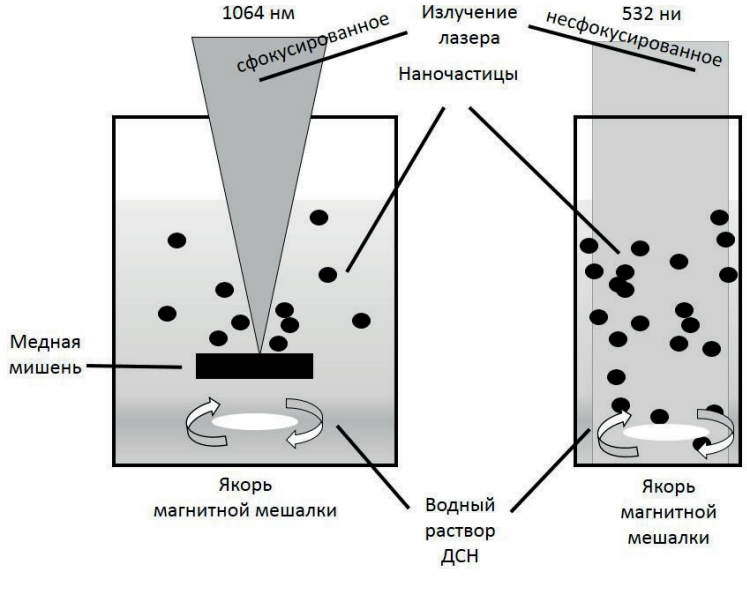


Рис. 1. Схема установки для синтеза наночастиц методом лазерной абляции в жидкости с последующей их модификацией
Слева – схема синтеза наночастиц методом импульсной лазерной абляции в жидкости;
справа – схема модификации наночастиц под действием лазерного излучения

Мишень помещали в кювету, заполненную 60 мл 0,01 М водного раствора ДСН, и подвергали воздействию сфокусированного лазерного излучения (Nd:YAG-лазер, 25 Гц,

1064 нм, LTI 402) в течение 30 мин. Плотность энергии на поверхности мишени составляла 12 Дж·см-2. Средняя скорость абляции, оцениваемая по изменению массы мишени, была равна 0,1 мг·мин-1. Синтезированные частицы получались в виде коллоидного раствора. Для изменения морфологии наночастиц 5 мл коллоида в течение 3 мин подвергали дополнительному воздействию несфокусированного лазерного излучения Nd:YAG-лазера (0,3 Дж·см-2, 10 Гц, 532 нм, LOTIS TII, LS2134). Для обеспечения равномерного воздействия лазерного излучения как в процессе синтеза, так и во время модификации жидкость в кюветах перемешивали с помощью магнитной мешалки. Изменение оптических свойств медьсодержащих наночастиц, синтезированных методом лазерной абляции в жидкости, до и после их модификации под воздействием лазерного излучения исследованы методом абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр Cary 500).

Спектры поглощения коллоидов, содержащих наночастицы, регистрировали непосредственно после синтеза, через 20 мин после синтеза, через час, сутки и через 1 неделю.

Так как наночастицы были получены в растворе додецилсульфата натрия, предварительно были зарегистрированы спектры поглощения исходного растворителя (рисунок 2). Поглощение додецилсульфата натрия учитывалось при анализе спектров поглощения наночастиц. В спектре ДСН наблюдается полоса поглощения вблизи 240 нм. Полосы поглощения с концентрационно-зависимым положением максимума в области длин волн, меньших 210 нм не наблюдались [14]. Незначительное повышение оптической плотности после 24 ч нахождения в кювете может быть вызвано испарением воды и, как следствие, повышением концентрации ДСН в растворе.

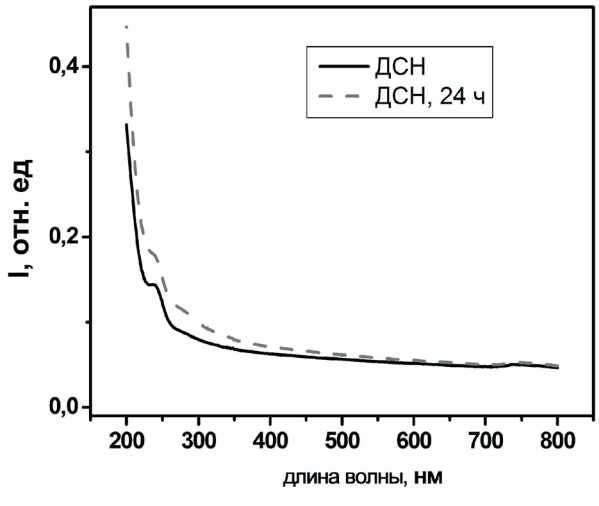
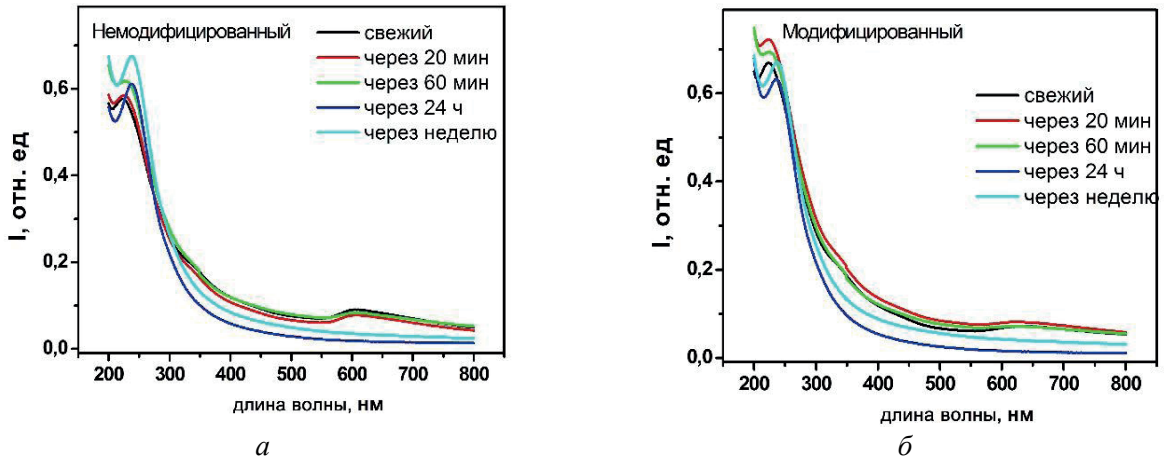


Рис. 2. Спектры поглощения 0,01 М водного раствора додецилсульфата натрия непосредственно после приготовления и через 24 часа после приготовления

На рисунке 3 представлены спектры синтезированных коллоидов медьсодержащих наночастиц в водном растворе ДСН до и после облучения излучением лазера на длине волны 532 нм непосредственно после синтеза (модификации под воздействием лазерного излучения), через 20, 60 мин, через 24 часа и через неделю.

В спектрах наблюдаются полосы поглощения с максимумами в диапазонах 223-239 нм и 605-630 нм. Характерная полоса поглощения CuO-наночастиц вблизи 800 нм не была обнаружена [15]. Поглощение в области 605-630 нм свидетельствует об образовании Cu или Cu_2O наночастиц [16]. В приведенных спектрах учтен вклад поглощения растворителя, поэтому полосы поглощения в диапазоне 220-240 нм следует отнести к образующимся наночастицам малых размеров (меньше 4 нм) или процессам флокуляции синтезированных наночастиц.



а *б*

Рис. 3. Спектры синтезированных коллоидов медьсодержащих наночастиц в водном растворе ДСН до (*а*) и после облучения (*б*) излучением лазера на длине волны 532 нм. Спектры зарегистрированы непосредственно после синтеза (модификации под воздействием лазерного излучения), через 20, 60 мин, через 24 часа и через неделю в диапазоне длин волн 200-800 нм

Изменения положения максимумов полос поглощения со временем немодифицированного и модифицированного представлены в таблице.

Таблица 1

Изменения положения максимумов полос поглощения коллоидов медьсодержащих наночастиц

Время после синтеза	Немодифицированный коллоид Максимум полос поглощения, нм		Модифицированный лазерным излучением коллоид Максимум полос поглощения, нм	
0 мин	223	608	224	633
20 мин	226	608	224	625
60 мин	227	609	224	617
24 ч	238	-	236	-
1 неделя	238	-	237	-

Как следует из таблицы, воздействие лазерного излучения с длиной волны 532 нм на синтезированный коллоид приводит к смещению полосы поглощения вблизи 600 нм в красную область. Батохромный сдвиг спектра поглощения наночастиц может происходить за счет увеличения размера частиц в результате коалесценции [17]. Изменение положения максимума поглощения в коротковолновой области вблизи 200 нм незначительно для немодифицированного коллоида (223-227 нм). Изменение положения максимума поглощения в этой области для облученного коллоида не происходит в течение часа. С течением времени максимум поглощения вблизи 200 нм смещается в длинноволновую область как для немодифицированного, так и для облученного коллоида. Через сутки его положение перестает изменяться и остается примерно одинаковым для обоих коллоидов (236-238 нм).

В длинноволновой области положение максимума поглощения немодифицированного коллоида не меняется во времени в течение 1 часа. Через сутки поглощение в данном диапазоне спектра не наблюдается. Вероятно, это связано с образованием агрегатов наночастиц, а также их седиментацией.

Поглощение модифицированного коллоида в области 600 нм также наблюдается только в течение первого часа после синтеза. При этом максимум полосы поглощения сдвигается в коротковолновую область для облученного коллоида и остается постоянным для немодифи-

цированного коллоида. Интенсивность полосы поглощения в длинноволновой области уменьшается с течением времени для обоих образцов и полностью исчезает через сутки.

Таким образом, исследования синтезированных коллоидов показывают, что методом лазерной абляции в жидкости можно синтезировать коллоидные растворы медьсодержащих наночастиц, стабильность которых сохраняется в течение одного часа.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.05, НИР 1 «Физико-химические процессы в плазменных образованиях, генерируемых электрическими разрядами и лазерным излучением в газах и жидкостях: разработка технологических основ синтеза, анализа и модификации полупроводниковых и композитных наноматериалов».

Библиографические ссылки

1. *Altammar K. A.* A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges // Front Microbiol. 2023. Vol. 14. Art. № 1155622. DOI 10.3389/fmicb.2023.1155622.

2. An overview of photocatalytic degradation: photocatalysts, mechanisms, and development of photocatalytic membrane / W. S. Koe [et al.] // Environmental Science a. Pollution Research Intern. 2020. Vol. 27, iss. 3. P. 2522–2565.

3. Exposure route of TiO2 NPs from industrial applications to wastewater treatment and their impacts on the agro-environment / Z. Zahra [et al.] // Nanomaterials. 2020. Vol. 10. Art. № 1469. DOI:10.3390/nano10081469.

4. Nanoparticles in electrochemical sensors for environmental monitoring / L. Rassaei [et al.] // TrAC Trends Anal. Chem. 2011. Vol. 30. P. 1704–1715.

5. Emerging nanoparticles in food: sources, application, and safety / J. Chen [et al.] // J. Agricult. Food Chem. 2023. Vol. 71. P. 3564–3582.

6. Exploring the journey of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) toward biomedical applications / F. Islam [et al.] // Materials. 2022. Vol. 15. Art. № 2160. DOI 10.3390/ma15062160.

7. Chandrakala V., Aruna V., Angajala G. Review on metal nanoparticles as nanocarriers: current challenges and perspectives in drug delivery systems // Emergent Materials. 2022. Vol. 5. P. 1593–1615.

8. *Kim M., Lee J. H., Nam J. M.* Photothermal photodynamic therapy and enhanced radiotherapy of targeting copolymer-coated liquid metal nanoparticles on liver cancer // Advanced Science. 2019. Vol. 17. ArtN. 1900471.

9. Photothermal photodynamic therapy and enhanced radiotherapy of targeting copolymer-coated liquid metal nanoparticles on liver cancer / T. Liu [et al.] // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2021. Vol. 7. ArtN. 112023.

10. Gold nanoparticle-based colorimetric biosensors / H. Aldewachi [et al.] // Nanoscale. 2018. Vol. 7, n.10. P. 18–33.

11. *Szczyglewska P., Feliczak-Guzik A., Nowak I.* Nanotechnology–General Aspects: A Chemical Reduction Aproach to the Synthesis of Nanoparticles // Molecules. 2023. Vol. 28, n. 13. Art N. 4932. DOI:doi.org/10.3390/molecules28134932.

12. *Тарасенко Н. В., Буцень А. В.* Лазерный синтез и модификация композитных наночастиц в жидкостях// Квантовая электроника. 2010. Т. 40 . № 11. С. 986–1003.

13. Green synthesis of nanopaerticles for varied applications: Green renewable resources and energy-efficient synthetic routes / M. Madani [et al.] // Nanotechnology Rerviews/ 2022. Vol. 11. P. 731–759.

14. Optimization of Surfactant Concentration in Carbon Nanotube Solutions for Dielectrophoretic Ceiling Assembly and Alignment:Implications for Transparent Electronics / A. Abdukhameed [et al.] // ACS Omega. 2022. Vol. 7, no. 4. P. 3680–3688.

15. *Yanase A., Komiyama H.* In situ observation of oxidation and reduction of small supported copper particles using optical absorption and X- ray diffraction // Surface Science. 1991. Vol. 248, №1-2. P. 11-19.

16. Synthesis, characterization, and nonlinear optical properties of copper nanoparticles / H. Huang, [et al.] // Langmuir. 1997. Vol. 13, №2. P. 172– 175.

17. Formation of Cu and Cu2O nanoparticles by variation of the surface ligand: preparation, structure, and insulating-to-metallic transition / M. Aslam [et al.] // Journal of Colloid and Interface Science. 2002. Vol. 255, №1. P.79-90.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А. П. Секирина[1)], **И. А. Ровенская**[2)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, s.sekirina@gmail.com*
[2)] *Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси, ул. Купревича, 2, 220084, Минск, Беларусь, rovenskayaia@rambler.ru*

Проблема очистки промышленных стоков и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых целей с каждым годом приобретает все большее значение. Сброс недостаточно очищенных стоков в водоемы приводит к ухудшению качества воды и нарушению нормальных условий жизнедеятельности гидробионтов, эвтрофикации. В настоящее время многие водоемы мира из-за загрязнения утратили свое значение как источники рыбохозяйственного и санитарно-бытового водопользования. Сложность очистки связана с чрезвычайным разнообразием примеси в стоках, количество и состав которых постоянно изменяется вследствие появления новых производств и изменение технологии существующих.

Ключевые слова: сточные воды; загрязняющие вещества; биологическая очистка; поля фильтрации; биологические пруды.

WASTEWATER TREATMENT IN NATURAL CONDITIONS

A. P. Sekirina[1)], **I. A. Rovenskaya**[2)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, s.sekirina@gmail.com*
[2)] *Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Kuprevicha str., 2220084, Minsk, Belarus, rovenskayaia@rambler.ru*

The problem of industrial wastewater treatment and water treatment for technical and household drinking purposes is becoming increasingly important each year. The discharge of insufficiently treated wastewater into reservoirs leads to deterioration of water quality and disruption of normal living conditions of aquatic organisms, eutrophication. Currently, many water bodies in the world have lost their importance as sources of fisheries and sanitary water use due to pollution. The complexity of treatment is associated with an extreme variety of impurities in wastewater, the amount and composition of which is constantly changing due to the emergence of new industries and changes in the technology of existing ones.

Keywords: wastewater treatment; biological treatment; filtration fields; biological ponds.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-231-234

Биологическая очистка сточных вод – это процесс перевода коллоидных и растворенных органических веществ в минеральные соединения за счет жизнедеятельности бактерий [1].

Биологическая очистка сточных вод является одним из самых распространенных способов обезвреживания бытовых и производственных вод перед выпуском в поверхностный водный объект. В его основе лежит процесс биологического окисления органических соединений, которые невозможно удалить механическим путем из-за того, что они находятся в коллоидном и растворенном состоянии в сточных водах предприятий и отводимых от населения. Биодеградация загрязнений осуществляется сообществом аэробных микроорганизмов, включающим множество различных бактерий, простейших и ряд более высокоорганизованных организ-

мов – водорослей, грибов и т. д., связанных в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма). Процессы биологической очистки во многом аналогичны процессам самоочищения в природных водоемах, интенсифицированных применением систем инженерных сооружений, таких как: аэротенки, биологические фильтры, биологические пруды, поля орошения, поля аэрации и прочие.

Процесс очистки сточных вод от органических веществ микроорганизмами происходит в две фазы.

Первая – фаза сорбции. В основе ее лежат физико-химические процессы адсорбции органических веществ и коллоидов поверхностью микробной клетки.

Вторая фаза – внутриклеточное окисление растворенных и адсорбированных органических веществ.

Распад органических соединений разных классов происходит в определенной последовательности и с различной скоростью. Разложение углеводов до углекислого газа и воды идет чрезвычайно быстро, всего несколько часов. Медленнее окисляются жиры. Наиболее сложно и длительно осуществляется распад белковых веществ. Процесс нитрификации связан с потреблением большого количества кислорода, что учитывается при организации биологической очистки. Нитрификация – процесс экзотермический, это значительно облегчает эксплуатацию очистных сооружений в зимнее время. Нитрификацию следует рассматривать не только как минерализацию азотистых органических соединений, но и как накопление связанного кислорода в воде. При дефиците кислорода в водном объекте связанный кислород нитратов может быть мобилизован в процессе денитрификации.

Поля орошения – специально подготовленные и спланированные участки земли, предназначенные для очистки сточных вод и для их одновременного использования в агротехнических целях, обычно с целью доочистки [2].

Поля состоят из карт, спланированных горизонтально или с незначительным уклоном и разделенных земляными оградительными валиками. Очистка в этих условиях идет под действием почвенной микрофлоры, солнца, воздуха и под влиянием жизнедеятельности растений. Сточная вода распределяется по картам оросительной сетью. Вода, профильтрованная через слой почвы, отводится осушительной сетью [3].

При очистке сточных вод на земледельческих полях орошения – эти участки в последствии используют для сельскохозяйственных целей. На полях выращивают огородные или кормовые культуры, сеяные травы. Земледельческие поля орошения могут быть круглогодичного или сезонного действия. При использовании такого метода достигается высокий (до 99 %) эффект бактериальной очистки. Для полей орошения основной задачей все-таки является очистка сточных вод [4].

Поля фильтрации – это земельные участки, предназначенные только для полной биологической очистки предварительно осветленных сточных вод. [3]. Принцип процесса очистки на полях состоит в поглощении органических веществ сточных вод пленкой микроорганизмов поверхности почвы. В верхних слоях почвы происходят процессы окисления и нитрификации, а в нижних слоях – денитрификация, поскольку с увеличением глубины содержание кислорода уменьшается. Сточные воды, направляемые на поля орошения и фильтрации, должны предварительно отстаиваться, что позволяет уменьшить в них содержание патогенных микроорганизмов примерно на 50-60 %. Поля орошения и фильтрации используются во всех климатических районах, за исключением северных [5]. Для их обустройства подходят песчаные и супесчаные грунты, но можно использовать также суглинистые и черноземные почвы. Размеры карт полей фильтрации зависят от рельефа местности, количества сточной воды, общей рабочей площади и способа обработки почвы. Сточная вода распределяется по картам оросительной сетью, а очищенная вода, профильтровавшаяся через слой почвы, отводится осушительной сетью, либо с помощью дренажной системы в поверхностный водный объект [2].

Для небольших рабочих поселков, малых городов устройство полей орошения и фильтрации можно признать весьма целесообразным в связи со сравнительной простотой их устройства и эксплуатации.

Биологические пруды – искусственно созданные неглубокие (0,5-1 м) водоемы, функционирующие на основе природных процессов самоочищения [2]. Пруды могут быть использованы в качестве самостоятельных очистных сооружений, а также в качестве доочистки сточных вод, уже прошедших биологическую очистку. Процесс очистки в этих сооружениях аналогичен процессам, происходящим при самоочищении водоемов. Биопруды заселены водными организмами, оказывающими благоприятное воздействие на процесс очистки. В ряде научных работ показано, что при использовании микроводорослей для очистки загрязненных вод, выделяются в воду вещества, которые обладают бактерицидными свойствами. В аэробных условиях органические вещества, которые содержат в своем составе наибольшее количество углеродов, постепенно разлагаются до углекислот и воды. В то же время азотосодержащие органические вещества загрязненных вод окисляются до нитратов и нитритов. Интересно отметить, что нитраты и нитриты быстро усваиваются водорослями и во многих случаях концентрация нитритов снижается до нуля. Это дает большое санитарно-гигиеническое преимущество в процессе очистки загрязненных вод в естественных условиях. После биологической очистки загрязненных вод в искусственных сооружениях, во входящем стоке содержится большое количество азота нитратного, который представляет серьезную опасность для подземных вод и природных водоемов [4].

Для устройства биологических прудов могут быть использованы естественные впадины местности, заброшенные карьеры, а также специально созданные водоемы.

Они представляют собой каскад прудов, состоящий из трех-пяти ступеней, через которые с небольшой скоростью протекает осветленная или биологически очищенная сточная вода. Их применяют в случаях, когда при наличии достаточных площадей отсутствуют хорошо фильтрующие почвы. Данные сооружения являются достаточно эффективными. Качество очистки зависит от времени года (зимой 8 эффективность резко снижается). Различают пруды с естественной и искусственной аэрацией воздуха. Время пребывания сточных вод в первых прудах достигает 7-60 суток, а в прудах с искусственной аэрацией – 1-3 суток [2].

Биологические пруды обеспечивают высокоэффективную очистку – количество кишечной палочки снижается на 95,9–99,9 % исходного, почти полностью задерживаются яйца гельминтов.

Основное достоинство естественных сооружений биологической очистки выражается в сравнительно невысокой стоимости строительства и эксплуатации, а недостатком является низкая интенсивность очистки [6]. В искусственных очистных сооружениях, наоборот, скорость очистки высокая, что позволяет за более короткое время очищать большие объемы сточных вод. Таким образом, сооружения очистки сточных вод в естественных условиях не всегда могут конкурировать с сооружениями искусственной биологической очистки. Особенно в периоды низких температур.

К недостаткам методов очистки сточных вод в естественных условиях относятся:

– низкая окислительная способность в результате заиливания дна биопрудов и грунта полей фильтрации;

– сезонность работы;

– риск попадания загрязняющих веществ в грунтовые воды;

– риск накопления в почве биологически неокисляемых загрязнений и компонентов;

– риск вторичного загрязнения толщи воды соединениями, накапливающимися в донных отложениях, и как следствие необходимость систематической очистки отмершей биомассы;

– потребность в больших территориях.

В литературе практически отсутствуют рекомендации по сезонной эксплуатации биопрудов и полей фильтрации, тогда как в условиях нашего климата фактор сезонности оказывает

огромное влияние на эти сооружения. Подавляющая часть сооружений естественной очистки, эксплуатирующихся в Республике Беларусь, работает недостаточно эффективно. В результате эвтрофикации («цветения») вода, обработанная в таких сооружениях биологической очистки, может содержать существенно больше взвешенных веществ и органических загрязнений, чем та, что поступает на доочистку.

Библиографические ссылки

1. *Николаева Л. А., Исхакова Р. Я.* Биологическая очистка сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики : учебное пособие // Казань: КГЭУ, 2021. 90 с.
2. *Воронов Ю. В., Яковлев С. В.* Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов (направление «Строительство»). 4-е изд., доп. и перераб. М.: АСВ: Изд-во МГСУ, 2006. 704 с.
3. Биологическая очистка сточных вод [Электронный ресурс]. URL: https://eor.dgu.ru/lectures_f/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%A1%D0%93%D0%A2/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%208.htm (дата обращения: 10.01.2025)
4. Анализ основных методов биологической очистки как основа интенсификации работы сооружений [Электронный ресурс]. URL: https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13007 (дата обращения: 10.01.2025)
5. Биологическая очистка сточных вод с использованием болотных биогеоценозов [Электронный ресурс]. URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/1984/1/bulletin_tpu-2008-312-1-12.pdf. Дата доступа: (дата обращения 22.01.2025).
6. Биологическая очистка сточных вод: [Электронный ресурс]. URL: https://eor.dgu.ru/lectures_f/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%A1%D0%93%D0%A2/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%208.htm (дата обращения: 10.01.2025).

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ОСОКОВОГО ТОРФА ДЛЯ ОЧИСТКИ МЕДЬ–, ЦИНК– И НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ

Н. Е. Сосновская[1)], **И. И. Коврик**[2)]

[1)] *Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, natalisosnov@mail.ru*
[2)] *Барановичский филиал УО ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», ул. Восточный посёлок, 3А, 225410, г. Барановичи, Беларусь, kovrik_i.mail.ru*

Применение щелочных гуминовых кислот осокового торфа позволяет не только эффективно очищать медь–, цинк– и никельсодержащие растворы, но и получать осадки, с высоким содержанием металл-гуминовых комплексов. Установленные коэффициенты связывания могут служить диагностической оценкой как для селективного выделения определенного металла из поликатионных растворов, так и для определения состава образующихся осадков. Основным преимуществом использования гуминовых кислот является возможность не только выделения определенных металлов, но и дальнейшей переработки образующихся осадков, поскольку в них содержится до 70–85 масс.% металл-гуминовых комплексов.

Ключевые слова: гуминовые кислоты; металл-гуминовые комплексы; коэффициент связывания; степень очистки

POSSIBILITY OF USING HUMIC ACIDS OF SEDGE PEAT FOR PURIFICATION OF COPPER-, ZINC- AND NICKEL-CONTAINING SOLUTIONS

N. E. Sosnovskaya[1)], **I. I. Kouryk**[2)]

[1)] *Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Skorina str., 10, 220076, Minsk, Belarus, natalisosnov@mail.ru.*
[2)] *2Educational Institution «State Institute for advanced studies and retraining in the field of gas supply «Gas Institut», Vostochny Poselok str., 3A, 225410, Baranovichi, Belarus, kovrik_i.mail.ru*

The use of alkaline humic acids of sedge peat not only enables the effective purification of copper-, zinc- and nickel-containing solutions, but also allows for the formation of precipitates with a high content of metal-humic complexes. The determined binding coefficients can serve as a diagnostic tool for selective separation of a specific metal from polycationic solutions, as well as for determining the composition of the formed precipitates. The main advantage of using humic acids is their ability not only to isolate certain metals, but also further processing of formed precipitates, because they contain up to 70–85 wt.% of metal-humic complexes.

Keywords: humic acids; metal-humic complexes; binding coefficient; purification degree.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-235-239

Загрязнение окружающей среды сточными водами (СВ), содержащими тяжелые металлы, представляет собой одну из глобальных проблем современности [1]. Большинство используемых в настоящее время реагентных способов очистки СВ предполагает образование неперерабатываемых шламов, представляющих собой смесь экологоопасных гидроксидов металлов. Наряду с этим гальваношламы – это техногенные образования с высокой концентрацией металлов. Поэтому решение проблемы очистки металлсодержащих СВ связано с разработкой экологобезопасных технологий, основанных на материалах, способных не только эффективно извлекать тяжелые металлы из СВ, но и позволяющих проводить утилизацию образующихся высокотоксичных осадков.

Одним из путей решения данной проблемы может стать использование торфяных гуминовых кислот (ГК), обладающих способностью связывать металлы в металл-гуминовые комплексы (МГК) [2], из которых в дальнейшем можно концентрировать отдельные металлы [3].

Однако из-за сложности взаимодействия ГК с катионами количественные и качественные характеристики осадков, их прочность и другие свойства еще полностью не раскрыты.

Целью работы являлось изучение влияния условий взаимодействия как на связывание катионов меди, цинка и никеля щелочными растворами ГК осокового торфа, так и на состав образующихся осадков.

Методика проведения эксперимента заключалась во введении ГК, выделенных из осокового торфа, в металлсодержащие растворы (Сисх.=50 мг/дм^3) в статических условиях. По достижении химического равновесия образующийся осадок отделяли центрифугированием. В исходном растворе и фугате концентрацию катионов определяли на атомно-абсорбционном спектрометре «Сатурн-3П-1». По разности исходных и конечных значений находили количество связанного металла [2].

Для оценки влияния условий взаимодействия на связывание катионов ГК в растворах анализировали качественный и количественный состав образующихся осадков. Известно, что в растворах солей катионы находятся в различных гидратированных формах, поэтому получаемые в наших условиях осадки представляли смесь нерастворимых продуктов гидролиза солей и МГК. Чтобы оценить долю участия ГК и щелочи в связывании катионов и охарактеризовать состав образующихся осадков ввели коэффициент связывания (К):

$$К = \frac{\text{мг–экв/г ГК}}{\text{мг–экв/г } NaOH} \quad (1)$$

где мг-экв/г ГК – количество катионов, связанных непосредственно ГК; мг-экв/г NaOH – количество катионов, связанных щелочью при одинаковых условиях эксперимента.

В монокатионных растворах наиболее высокие значения К получены при связывании катионов меди (табл. 1). По-видимому, они обладают большей склонностью к связыванию ГК, чем катионы никеля и цинка.

Таблица 1

Степень очистки (F)и коэффициенты связывания (К) металлов ГК в монокатионных растворах

Соотношение Me:ГК	0,2 % ГК						0,4 % ГК					
	Cu^{2+}		Ni^{2+}		Zn^{2+}		Cu^{2+}		Ni^{2+}		Zn^{2+}	
	F	K	F	K	F	K	F	K	F	K	F	K
10:1	11	2,6	15	1,9	27	1,1	8	1,7	11	1,1	13	0,5
5:1	17	1,9	43	1,0	56	1,0	12	1,4	24	0,9	25	0,4
2:1	31	0,9	65	0,8	*	*	21	1,0	38	0,6	64	0,3
1:1	85	0,4	69	0,5			36	0,8	48	0,3	*	*
1:2	*	*	*	*			92	0,7	*	*		
1:2,5							*	*				

Для исследуемых катионов при увеличении доли ГК в соотношении Me:ГК массовая доля гидроксидов металлов в осадках возрастает и значения К уменьшаются, что вызвано увеличением pH среды, в результате которого процесс образования гидроксидов металлов начинает преобладать над образованием МГК (табл. 1). При использовании разбавленных растворов ГК (0,2 %) по сравнению с более концентрированными (0,4 %) зафиксированы более высокие значения К, что связано с проявлением межмолекулярных взаимодействий, приводящих к снижению числа ионизированных функциональных групп и уменьшению сорбционных свойств ГК [4].

Таким образом, на процесс формирования и состав МГК в монокатионных растворах влияют природа катиона, концентрация ГК, pH образования осадков и соотношение Me:ГК [2].

При связывании катионов ГК в бикатионных растворах наблюдаются не только выявленные для монокатионных растворов закономерности, но и ряд особенностей. Так, в бикатионных растворах значения К превышают единицу (табл. 2). Высокие значения К свидетельствуют о преобладании МГК в полученных осадках. Действительно, суммарное содержание МГК в осадках, образованных при связывании металлов в бикатионных растворах достигает 85 масс. % (рис.1 и 2).

Таблица 2

Степень очистки F и коэффициенты К связывания металлов 0,4 % ГК в бикатионных растворах

Соотношение (∑Me):ГК	$pH_{обр}$	Cu^{2+}		Ni^{2+}		Zn^{2+}	
		F	K	F	K	F	K
медь (50 мг/дм³)+ цинк (50 мг/дм³)							
10:1	6,1	23	5,3	–	–	0	0
5:2	6,3	43	4,9	–	–	0	0
2:1	6,4	49	4,1	–	–	8	2,0
1:1	6,5	67	3,2	–	–	10	1,4
1:2	6,7	82	2,3	–	–	20	0,9
медь (300 мг/дм³)+ никель (50 мг/дм³)							
10:1	5,4	11	5,8	0	0	–	–
1:1	5,6	70	1,0	14	0,6	–	–
медь (50 мг/дм³)+ никель (50 мг/дм³)							
10:1	6,4	21	2,5	0	0	–	–
1:1	6,7	69	1,9	6	1,7	–	–
медь (50 мг/дм³)+ никель (300 мг/дм³)							
10:1	6,7	36	9,3	8	3,2	–	–
1:1	7,1	95	3,7	19	3,4	–	–

Так, при связывании в медь+ цинк и медь+ никель бикатионных растворах, в которых концентрация меди выше или равна концентрации другого катиона, выявлены условия (соотношения (∑Me):ГК= 10:1 и 5:2) селективного связывания катионов меди (рис. 1 и 2*а* и 2*б*) с высоким содержанием Cu-ГК в осадке (70–85 масс. %).

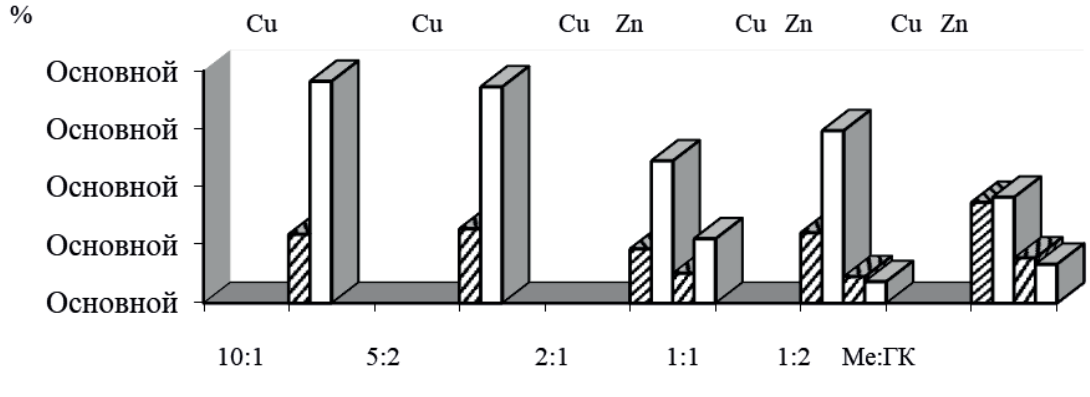


Рис. 1. Состав осадков, образованных при связывании меди и цинка 0,4 % ГК в медь (50 мг/дм³)+ цинк (50 мг/дм³) бикатионном растворе, масс.%: ▨ – гидроксиды, □ – МГК

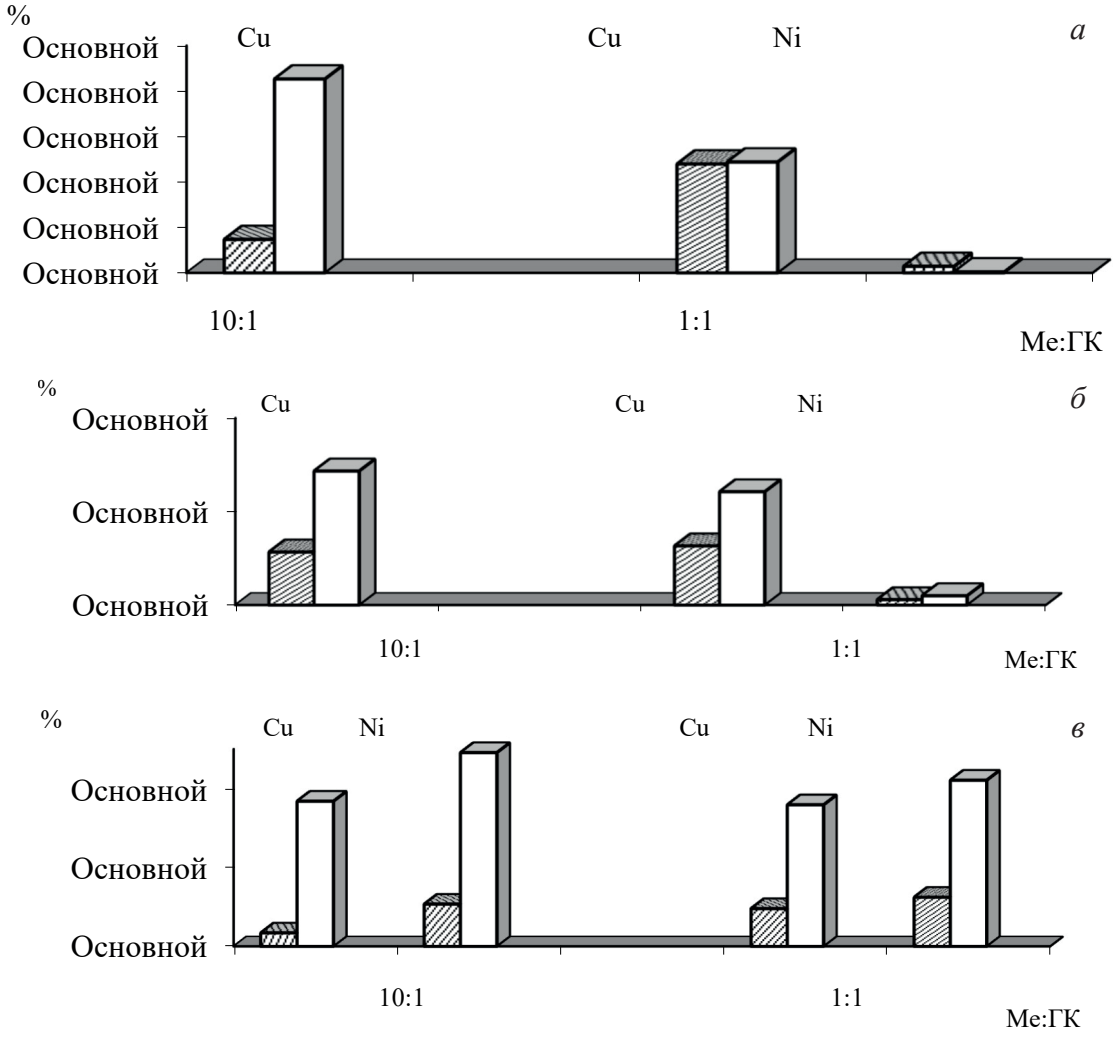


Рис. 2. Состав осадков, образованных при связывании меди и никеля ГК в медь (300 мг/дм3)+ никель (50 мг/дм^3) (*а*), медь (50 мг/дм^3)+ никель (50 мг/дм^3) (*б*), медь (50 мг/дм^3)+ никель (300 мг/дм^3) (*в*) бикатионных растворах, масс.%. Обозначения те же, что на рис. 1

С увеличением доли ГК в соотношении (∑Me):ГК общее содержание МГК в осадках уменьшается, как и для монокатионных растворов, что связано с увеличением значения pH среды. Особенно четко эта зависимость проявляется при связывании катионов в медь+ цинк бикатионном растворе, когда при достижении pH образования гидроксида меди (pH 6,7) его доля в осадке увеличивается с 21 до 35 масс.%.

В бикатионных растворах, в которых концентрация никеля в 6 раз превышает концентрацию меди, количество Cu-ГК и Ni-ГК в осадках близко и составляет 36–42 масс. % (рис. 2, *в*).

Полученные данные свидетельствуют о том, что коэффициенты связывания могут служить диагностической оценкой как для выделения определенного металла из поликатионных растворов, так и для определения состава осадков.

Установленные закономерности связывания металлов ГК в растворах важны при использовании ГК для очистки металлсодержащих растворов. Степень очистки растворов (F) находили по формуле:

$$F = \frac{m_{связ}}{m_{исх}} \cdot 100\% \qquad (2)$$

где $m_{связ}$ – массы катионов, связанных щелочным раствором ГК; $m_{исх}$ – исходная массе катионов.

Из табл. 1 и 2 видно, что при определенных соотношениях Ме:ГК степень очистки исследуемых растворов может достигать 60–95 %. Введение большее высоких количеств ГК не приводит к увеличению степени очистки исследуемых растворов, т.к. при этом образуются растворимые МГК и осадок не образуется. Поскольку минимальные остаточные концентрации металлов (2–10 мг/дм^3) превышают значения ПДК для тяжелых металлов в воде, то наиболее целесообразно применять ГК для предочистки СВ. При этом лучше всего использовать 0,2 % ГК и очищать растворы на 40-50 %, поскольку в таких условиях образуются осадки с более высоким содержанием МГК.

Все вышеизложенное свидетельствует о перспективности использования торфяных ГК для предочистки металлсодержащих СВ. Основным преимуществом данного способа очистки является возможность не только выделения определенных металлов, но и дальнейшей переработки образующихся осадков, поскольку в них содержится до 70–85 масс.% МГК.

Библиографические ссылки

1. *Копцик С. В., Копцик Г. Н.* Оценка современных рисков избыточного накопления тяжелых металлов в почвах на основе концепции критических нагрузок (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 615-630.

2. *Коврик С. И.* Формирование металл-гуминовых комплексов в процессе очистки сточных вод препаратами на основе торфа: дис. ...канд. тех. наук: 25.00.36/ Минск, 2005. 176 л.

3. *Тимофеева С. С.* Современное состояние технологии регенерации и утилизации металлов сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды.1990. Т. 12, № 3. С. 237- 245.

4. *Жоробекова Ш. Ж.* Макролигандные свойства гуминовых кислот. Фрунзе: Илим, 1987.

5. *Сосновская Н. Е., Коврик С. И.* Природные сорбенты для рекультивации почв, загрязненных ионами тяжелых металлов // Природопользование и экологические риски: материалы науч.-практ. конф., г. Минск, 05 июня 2019 г / гл. ред. И.В. Войтов. Минск: БГТУ, 2019. С.141-145.

ПРИЗНАКИ ФИЛЛОСФЕРЫ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL) КАК СТРУКТУРЫ ПАССИВНОГО ИММУНИТЕТА К ЭПИФИТОТИЙНЫМ ЗАБОЛЕВАНИЯМ И ВРЕДИТЕЛЯМ В СКВЕРАХ Г. МИНСКА

Н. П. Стригельская[1)], **А. Г. Чернецкая**[1)], **М. Д. Гиль**[1)], **Д. Ю. Кузьменко**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Республика Беларусь, nadya.strigelskaya@mail.ru*

Зеленые насаждения являются неотъемлемым элементом урбанизированной среды. Липа занимает ведущее место в озеленении многих городов. Среди древесных пород, применяемых в озеленении г. Минска, липа составляет свыше 50 %. В статье проанализировано состояние липы мелколистной (*Tilia cordata*) на территории малых рекреационных зон г. Минска, изучены эпифитотийные микологические заболевания липы мелколистной (*T. cordata*) на территории малых рекреационных зон г. Минска. А также определены анатомические признаки филлосферы липы мелколистной (*T. cordata*), относящиеся к структурам пассивного иммунитета.

Ключевые слова: малые рекреационные зоны; эпифитотийные заболевания; вредители; филлосфера; пассивный иммунитет.

CHARACTERISTICS OF PHYLLOSPHERE OF SMALL-LEAVED LINDEN (*TILIA CORDATA* MILL) AS A STRUCTURE OF PASSIVE IMMUNITY TO EPIPHYTOTIC DISEASES AND PESTS IN PUBLIC GARDENS OF MINSK CITY

N. P. Strigelskaya[1)], **A. G. Chernetskaya**[1)], **M. D. Gil**[1)], **D.Y. Kuzmenko**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nadya.strigelskaya@mail.ru*

Green plantings are an integral element of the urbanized environment. The linden takes a leading place in the landscaping of many cities. Among the tree species used in landscaping of Minsk, linden makes more than 50 %. The article analyzes the condition of small-leaved linden (*Tilia cordata*) on the territory of small recreational areas of Minsk, studied epiphytotic mycological diseases of small-leaved linden (*T. cordata*) on the territory of small recreational areas of Minsk. The anatomical features of the phyllosphere of small-leaved linden (*T. cordata*) related to the structures of passive immunity were determined.

Keywords: small recreational zones; epiphytotic diseases; pests; phyllosphere; passive immunity.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-240-244

Зеленые насаждения урбанизированной среды выполняют важные санитарно-гигиенические, структурно-планировочные, декоративно-художественные функции. Широкое развитие системы зеленых насаждений – основное средство оздоровления воздуха городов. Создание в условиях загрязненной атмосферы устойчивых зеленых насаждений, эффективно очищающих воздух от вредных газов, следует рассматривать как существенное дополнение к способу борьбы с загрязнением воздушного бассейна городов [1].

Липа занимает ведущее место в озеленении многих городов. Среди древесных пород, применяемых в озеленении г. Минска, липа составляет свыше 50 %. До последнего времени в липовых насаждениях практически не отмечалось очагов опасных грибных болезней и повреждений от вредителей. Однако в последнее десятилетие во многих регионах происходит широкое распространение болезней и вредителей липы [2].

Одной из важнейших задач современных исследований является повышение продуктивности растений. Особую роль здесь играет защита растений от эпифитотийных микологических заболеваний и вредителей [2]. Вышесказанное обусловило выбор цели нашего исследования. Цель работы: изучить заболевания и пассивный иммунитет липы мелколистной (*T. cordata*) на территории малых рекреационных зон г. Минска.

В Минске насчитывается 26 парков, 159 скверов и 26. Местом полевых исследований были выбраны 3 малые рекреационные зоны г. Минска – Александровский сквер, Михайловский сквер и сквер Троицкая гора.

Материалом для лабораторного исследования послужили листья липы мелколистной (*T. cordata*), собранные в перечисленных скверах. Исследования включали изучение морфологического строения листьев липы мелколистной (*T. cordata*).

Лабораторное исследование устьиц проводили методом отпечатков по Полаччи [3]. Для изучения верхнего и нижнего эпидермиса листа были приготовлены и исследованы поперечные срезы. Для подсчета на определенной площади числа клеток использовался сетчатый окуляр-микрометр, разделенный на квадратные поля с длиной стороны 10 мм, разделенное, соответственно, на квадратные поля с длиной стороны 1,0 мм [4].

Было рассмотрено состояние липы мелколистной (*T. cordata*) на территории малых рекреационных зон г. Минска на примере трех скверов «Александровский», «Михайловский», «Троицкая гора». Деревья оценивались по шкале категорий состояния древесных пород [5].

Согласно подсчетам, в сквере «Александровский» г. Минска липы мелколистной (*T. cordata*) 64 дерева (25 % от всех деревьев). Анализ состояния липы мелколистной (*T. cordata*) на территории сквера показал, что процент здоровых деревьев составил 78 %, ослабленных 22 %, сильно ослабленные и усыхающие деревья отсутствовали.

В сквере «Михайловский» г. Минска липы мелколистной (*T. cordata*) 33 дерева (52 % от всех деревьев). Анализ состояния липы мелколистной (*T. cordata*) на территории сквера показал, что процент здоровых деревьев составил 73 %, ослабленных 27 %, сильно ослабленные и усыхающие деревья отсутствовали.

В сквере «Троицкая гора» г. Минска липы мелколистной (*T. cordata*) 311 деревьев (45 % от всех деревьев). Анализ состояния липы мелколистной (*T. cordata*) на территории сквера показал, что процент здоровых деревьев составил 67 %, ослабленных 33 %, сильно ослабленные и усыхающие деревья отсутствовали.

Основные эпифитотийные микологические заболевания и вредители липы мелколистной (*T. cordata*) изучались на территории перечисленных скверов. Вспышка заболеваний липы мелколистной (*T. cordata*) начинается в мае-июне и достигает пика в июле – начале августа.

В Александровском сквере г. Минска, было выявлено несколько эпифитотийных микологических заболеваний липы мелколистной (*T. cordata*): альтернариоз (3 %), различные виды пятнистостей (12 %). Главным вредителем липы мелколистной (*T. cordata*) является липовый галловый клещ (*Eriophyes tiliae*) (65 %). Лишь 20% деревьев остались не поражены (рис. 1). В Михайловском сквере г. Минска, было выявлено несколько эпифитотийных микологических заболеваний липы мелколистной (*T. cordata*): альтернариоз (4 %), различные виды пятнистостей (7 %). Главным вредителем липы мелколистной (*T. cordata*) является липовый галловый клещ (*Eriophyes tiliae*) (81 %). Лишь 8 % деревьев остались не поражены (рис. 2). В сквере «Троицкая гора» г. Минска, было выявлено несколько эпифитотийных микологических заболеваний липы мелколистной (*T. cordata*): альтернариоз (6 %), различные виды пятнистостей (8 %). Главным вредителем липы мелколистной (*T. cordata*) является липовый галловый клещ (*Eriophyes tiliae*) (63 %). Лишь 23 % деревьев остались не поражены (рис. 3).

По результатам исследования липы мелколистной (*T. cordata*) в трех скверах г. Минска видно, что доминирующим вредителем листьев является галловый клещ (70 %). Доминирующими заболеваниями листьев липы мелколистной (*T. cordata*) являются поражение различными пятнистостями (9 %), поражение альтернариозом (4 %).

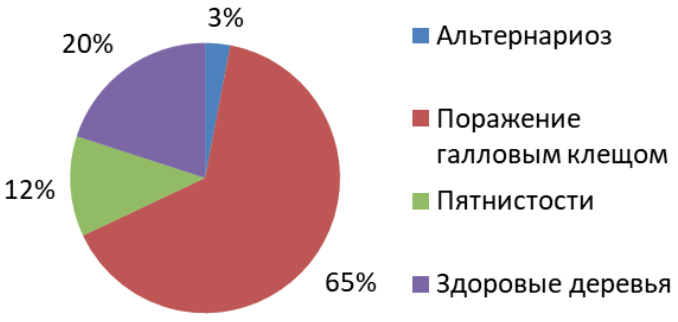


Рис. 1. Заболевания и вредители липы мелколистной (*T. cordata*) на территории Александровского сквера

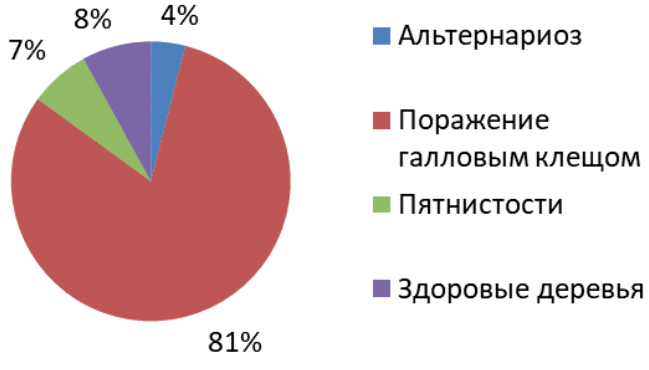


Рис. 2. Заболевания и вредители липы мелколистной (*T. cordata*) на территории Михайловского сквера

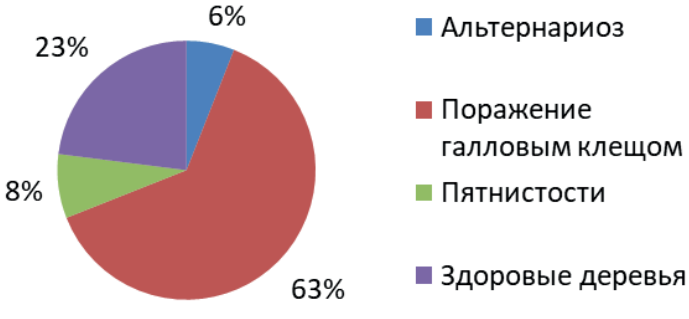


Рис. 3. Заболевания и вредители липы мелколистной (*T. cordata*) на территории сквера «Троицкая гора»

Пассивный иммунитет представляет способность растения препятствовать внедрению в него патогена. Его обуславливают определенные анатомо-морфологические особенности растения (развитие покровных тканей, количество устьиц, опушение, наличие воскового налета и др.), обеспечивающие так называемый механический иммунитет и некоторые физиолого-биохимические. Эти особенности обеспечивают так называемую «механическую» защиту и проявляются независимо от наличия контакта патогена с растением.

Показателями листа липы мелколистной (*T. cordata*), которые участвуют в пассивном иммунитете растения являются длина и ширина замыкающих клеток устьиц, толщина верхнего и нижнего эпидермиса. Именно эти структуры образуют систему растение-хозяин – паразит. Возможность заражения растений зависит от количества и строения устьиц, через которые патогены проникают в ткани листа.

Возбудители болезней листьев попадают путем проникновения во внутренние ткани хозяина через устьица или повреждая эпидермис. Тем самым приводят к различным образованиям

и преждевременному отмиранию листьев. Устьичный аппарат имеет немаловажное значение в обеспечении физиологической эффективности и жизнедеятельности растения, является основным каналом между растением и воздушной внешней средой и регулирует транспирацию воды с одновременным поглощением углекислого газа для фотосинтеза. Поэтому нарушение работы устьичного аппарата является одним из важных показателей болезней.

Измерения длины и ширины замыкающих клеток устьиц проводились на территории скверов «Троицкая гора», «Александровский», «Михайловский» (рис. 4).

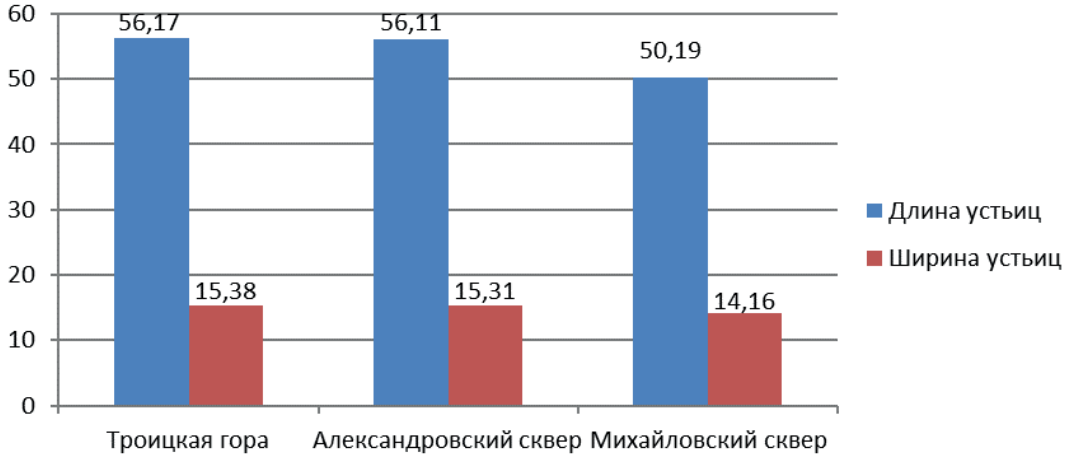


Рис.4. Средние значения длины и ширины замыкающих клеток устьиц, мкм

Средняя длина замыкающих клеток устьиц на территории скверов «Троицкая гора», «Александровский», «Михайловский» составила 54,16±0,7 мкм, ширина 14,95±0,61 мкм.

Итоги подсчета коэффициентов вариации фиксировались в таблице.

Коэффициенты вариации параметров липы мелколистной (*T. cordata*)

Сквер	Коэффициент вариации (%)				Изменчивость признака
	Длины устьиц	Ширины устьиц	Толщины верхнего эпидермиса	Толщины нижнего эпидермиса	
Троицкая гора	10,74	18,69	13,42	10,47	Средняя
Александровский	15,35	15,65	15,29	10,43	Средняя
Михайловский	12,99	19,96	14,34	11,97	Средняя

По результатам видно, что коэффициенты вариации параметров липы мелколистной (*T. cordata*), расположенной на территории скверов «Троицкая гора», «Александровский», «Михайловский» находятся в диапазоне от 10 до 20 %, что свидетельствует о средней изменчивости признаков. Можно сделать вывод, что параметры длины и ширины замыкающих клеток устьиц, толщины верхнего и нижнего эпидермиса являются постоянными.

Толщина верхнего и нижнего эпидермиса листа липы мелколистной (*T. cordata*) играет немаловажную роль, так как именно эта ткань листа является основной зоной взаимодействия с различными пятнистостями, альтернариозом, а также липовым галловым клещем. Эпидермис листа как верхний, так и нижний в рассматриваемых трех скверах практически не различается по форме и размерам (рис. 5).

В соответствии со значениями коэффициентов вариации можно сделать вывод, что данные признаки константны и являются основными элементами пассивного иммунитета липы мелколистной (*T. cordata*).

Средние показатели длины замыкающих клеток устьиц – 54,16±0,7 мкм, ширины – 14,95±0,61 мкм, ширины нижнего эпидермиса – 0,7±0,4 мкм, верхнего эпидермиса – 0,54±0,51 мкм. В соответствии с t-критерием Стьюдента, при $p \leq 0.05$ можно сделать вывод, что полученные данные статистически значимы.

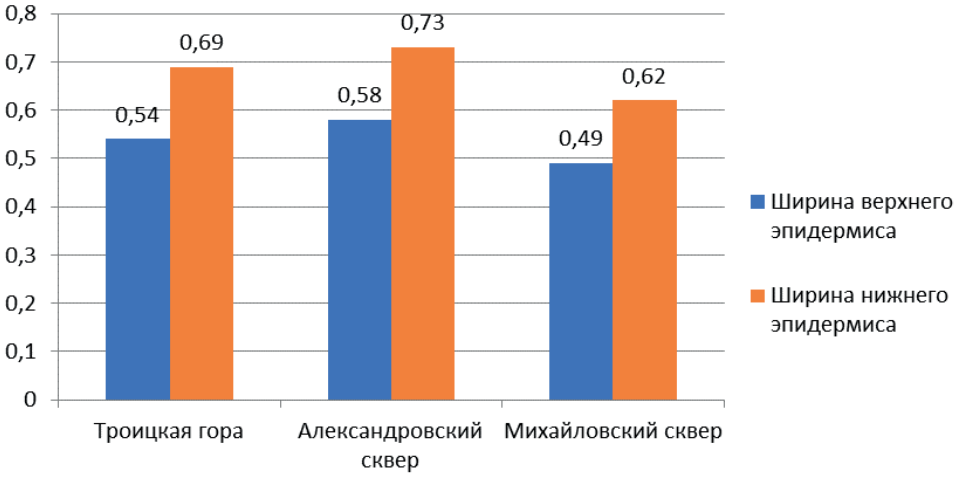


Рис. 5. Средние значения ширины верхнего и нижнего эпидермиса, мкм

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Анализ состояния липы мелколистной (*T. cordata*) на территории скверов «Троицкая гора», «Александровский», «Михайловский» показал, что здоровые деревья составили 73 %, ослабленные 27 %, сильно ослабленные и усыхающие деревья отсутствовали.

2. Доминантным вредителем липы мелколистной (*T. cordata*) на территории скверов «Троицкая гора», «Александровский», «Михайловский» является липовый галловый клещ (Eriophyes tiliae) (70 %)

4. Структурами листа липы мелколистной (*T. cordata*), которые участвуют в пассивном иммунитете растения являются замыкающие клетки устьиц, верхний и нижний эпидермис. Средние показатели длины замыкающих клеток устьиц – 54,16±0,7 мкм, ширины – 14,95±0,61 мкм, ширины нижнего эпидермиса – 0,7±0,4 мкм, верхнего эпидермиса – 0,54±0,51 мкм.

5. В соответствии со значениями коэффициентов вариации, которые равны 13,03 % у длины замыкающих клеток устьиц, 18,1 % – ширины замыкающих клеток устьиц, 14,35 % – толщины верхнего эпидермиса, 10,96 % – толщины нижнего эпидермиса, что говорит о средней изменчивости признака, можно сделать вывод, что данные параметры структур филлосферы константны и являются основными элементами пассивного иммунитета липы мелколистной (*T. cordata*).

Библиографические ссылки

1. *Еськов И. Д.* Защита растений: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2014. 147 с.

2. *Селищева О. А.* Оценка сортиментой структуры лесных культур липы мелколистной // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. 13 с.

3. *Игнатов А. Н.* Фитопатология научная область, которая не прекращает совершенствоваться // Аграрная наука. 2019. 79-80 с.

4. *Хикматуллина Г. Р.* Сравнительный анализ морфологических параметров листьев древесных растений в условиях урбанизированной среды //Удмурт. гос. ун-т. Казань, 2013. 22 с.

5. *Cooke B. M., Gareth Jones D., Kaye B.* The epidemiology of plant diseases 2nd ed. // Dordrecht: Springer, 2006. 576 p.

ИНФРМАТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ДЕЙСТВИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Е. Г. Тюлькова[1)], **Г. Е. Савченко,**[2)] **Л. Ф. Кабашникова**[2)]

[1)] *Гомельский государственный медицинский университет, ул. Ланге, 5, 24600, г. Гомель, Беларусь, tut-3@mail.ru*
[2)] *Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, ул. Академическая, 27 220072, г. Минск, Беларусь, gesavchenko@gmail.com*

На примере растений овсяницы тростниковой (Festuca arundinacea Schreb.) как непременной составляющей травянистого покрова в городских ландшафтных насаждениях продемонстрирована эффективность исследований совокупности разных параметров фотосинтетического аппарата (содержания и степени деградации хлорофилловых пигментов, активности фотосистемы II и их корреляционных взаимоотношений) в листьях в качестве маркеров стрессового состояния при действии углеводородов техногенного происхождения.

Ключевые слова: овсяница тростниковая; фитольные и бесфитольные формы хлорофилла; скорость выделения и поглощения кислорода; параметры фотосинтетического аппарата.

INFORMATIVENESS OF RESEARCH ON PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF PLANTS WHEN MONITORING EFFECTS OF TECHNOGENIC HYDROCARBONS

E. G. Tyulkova[1)], **G. E. Savchenko**[2)], **L. F. Kabashnikova**[2)]

[1)] *Gomel State Medical University, Lange St. 5, 24600, Gomel, Belarus, tut-3@mail.ru*
[2)] *Institute of Biophysics and Cellular Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Akademicheskaya str. 27, 220072, Minsk, Belarus, gesavchenko@gmail.com*

Using the example of reed fescue plants (Festuca arundinacea Schreb.) as an indispensable component of the herbaceous cover in urban landscape plantings, the effectiveness of studies of a combination of different parameters of the photosynthetic apparatus (the content and degree of degradation of chlorophyll pigments, photosystem II activity and their correlational relationships) in leaves as markers of stress under the action of man-made hydrocarbons has been demonstrated.

Keywords: reed fescue; phytolic and phytoless forms of chlorophyll; rate of oxygen release and absorption; parameters of the photosynthetic apparatus.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-245-250

Введение Экологическая направленность исследований фотосинтетического аппарата как одной из наиболее отзывчивых на любой стресс систем растительной клетки демонстрирует неослабевающий теоретический и практический интерес. Проблема мониторинга окружающей среды особенно в зонах, прилегающих к предприятиям, требует применения информативных и адекватных методов. Уровень современных знаний в области биохимии и биофизики фотосинтеза позволяет достичь определенных успехов в этой области. Идея настоящей работы связана с исследованием взаимосвязи между содержанием фотодинамически опасных продуктов деградации мембраносвязанных хлорофилловых пигментов, появляющихся при действии токсичных углеводородов техногенного происхождения, и активностью стрессочувствитель-

ной фотосистемы II, а также фотосинтеза и темнового дыхания в листьях овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.).

Объектом исследований служили растения одного из наиболее распространенных в городских условиях представителей многолетних травянистых растений – овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.). В работе использовали распыляемые воздушно-капельным путем водные растворы пентана, гексана, бензола, о-ксилола, бутилацетата и бенз(а)пирена, содержание углеводородов в которых было эквивалентно установленным предельно допустимым концентрациям (ПДК) для каждого из них в атмосферном воздухе (1 пдк, 50 пдк, 100 пдк, 200 пдк, 300 пдк) [1]. В случае бутилацетата их диапазон составлял 0,0001 – 0,03 мкг/мл, для о-ксилола 0,0002 – 0,06 мкг/мл, для бенз(а)пирена – от 0,005 до 1,5 нг/л, для пентана – 0,0001 – 0,03 мг/мл, гексана – 0,00006 – 0,018 мг/мл, бензола – 0,0001 – 0,03 мкг/мл. Материал анализировали через одни и трое суток после обработки соответствующими растворами углеводородов, контролем служили растения, обработанные дистиллированной водой. Для всех анализов брали идентичные отрезки листа.

В работе проводили разделение фитольных и бесфитольных форм хлорофиллов, основанное на их разной растворимости в гексане при соответствующих значениях pH. Содержание всех пигментов в итоге пересчитывали на сырую массу.

Фотохимическую активность фотосистемы II (ФС II) регистрировали с помощью измерительного комплекса «DUAL-PAM 100» (Heinz Walz, Германия). Для характеристики состояния фотосистемы использовали несколько основных и расчетных параметров PAM-флуориметрии. В адаптированных к свету листьях (актиничный свет 125 мкмоль квантов $м^{-2}с^{-1}$, 635 нм) согласно программе PAM-флуориметра автоматически рассчитывался эффективный квантовый выход ФС II (Y_{II}) (формула 1), характеризующий соотношение числа квантов, используемых в фотохимических превращениях, к общему числу поглощенных, и коэффициенты фотохимического (*qP*) и нефотохимического (*qN*) тушения возбуждения молекул Хл а в антенных комплексах ФС II (формулы 2 и 3):

$$Y(II) = \frac{F_m^{/} - F}{F_m^{/}}, \quad (1) \qquad qP = \frac{F_m^{/} - F}{F_m^{/} - F_0^{/}}, \quad (2) \qquad qN = \frac{F_m - F_m^{/}}{F_m - F_0}, \quad (3)$$

где $F_m^{/}F_m^{/}$ – максимальный уровень флуоресценции после насыщающего импульса на фоне актиничного освещения, F – выход флуоресценции при сочетанном действии импульса насыщения и актиничного света на стадии равновесного состояния (не менее 4 мин после насыщающей вспышки); $F_0^{/}F_0^{/}$ – уровень флуоресценции, измеряемый при выключении актиничного освещения и быстром повторном окислении акцепторной стороны ФС II с помощью дальнего красного света, возбуждающего только ФС I; F_m – максимальная флуоресценция, инициированная насыщающим светом (10 000 мкмоль квантов $м^{-2}с^{-1}$).

Активность темнового дыхания и фотосинтеза измеряли по скорости поглощения и выделения кислорода, соответственно, с помощью компьютеризированной системы PlantVital® 5030. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали программу Statistica 10.0 (StatSoft).

Результаты исследований и их обсуждение.

Ранее нами было установлено, что при действии на растения углеводородов на фоне увеличения содержания малонового диальдегида как маркера оксидативного стресса разрушение хлорофилловых пигментов, содержащих фитол, осуществлялось как путем удаления магния (феофитинизации), так и посредством дефитолизации.

На рис. 1 показано влияние отдельных углеводородов (пентана, бензола и бутилацетата, которые характеризуются различной липофильностью) на содержание мембраносвязанного

пула хлорофилла и бесфитольных хлорофиллидов. Из данных рис. 1 видно, что содержание хлорофиллида при токсикации растет, а изменение содержания хлорофилла и хлорофиллида имеет противоположную направленность. Несвязанные с мембраной бесфитольные пигменты рассматривают как возможные источники синглетного кислорода в хлоропластах (продукт окислительного стресса).

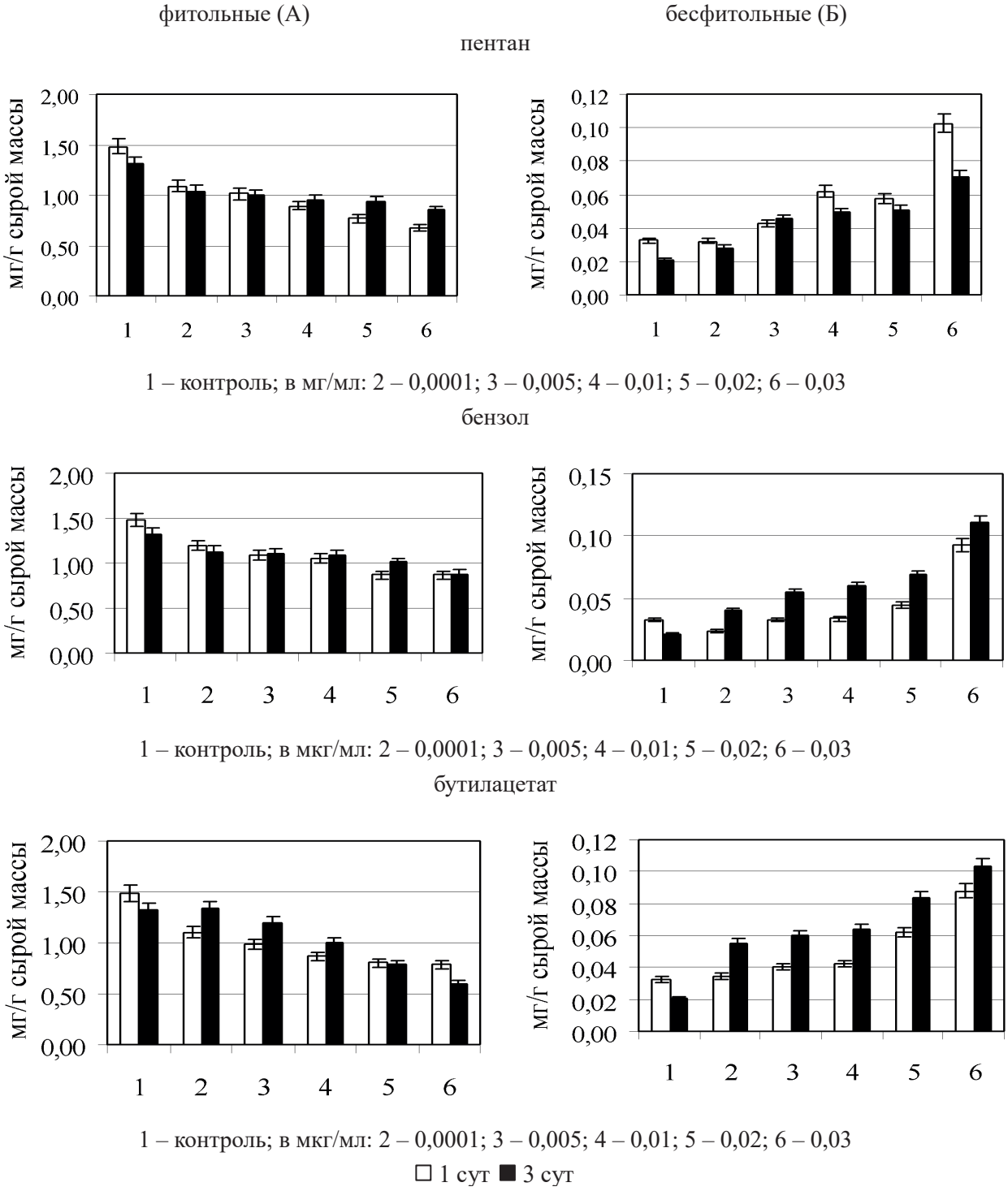


Рис. 1. Влияние летучих органических соединений на содержание фитольных (хлорофилл *a* + *b*) и бесфитольных (хлорофиллид *a* + *b*) форм хлорофилловых пигментов в листьях овсяницы тростниковой *F. arundinacea*

С помощью импульсно-модулированной флуоресцентной спектроскопии показано, что при действии токсичных углеводородов на растения под влиянием токсикантов снижался эффективный квантовый выход (Y) и фотохимическое тушение (qP) (на рис. 2 представлены результаты влияния пентана и бутилацетата, наиболее резко отличающихся по величине липофильности).

Уровень тепловой диссипации (нефотохимическое тушение, qN) избыточной энергии, поглощенной молекулами хлорофилла, которую рассматривают как один из механизмов защиты от стресса, при этом увеличивался пропорционально степени разрушения мембраносвязанных хлорофиллов.

Под влиянием токсикантов в пределах исследуемых доз скорость выделения и поглощения кислорода снижалась (табл. 1 на примере пентана, бензола и бутилацетата).

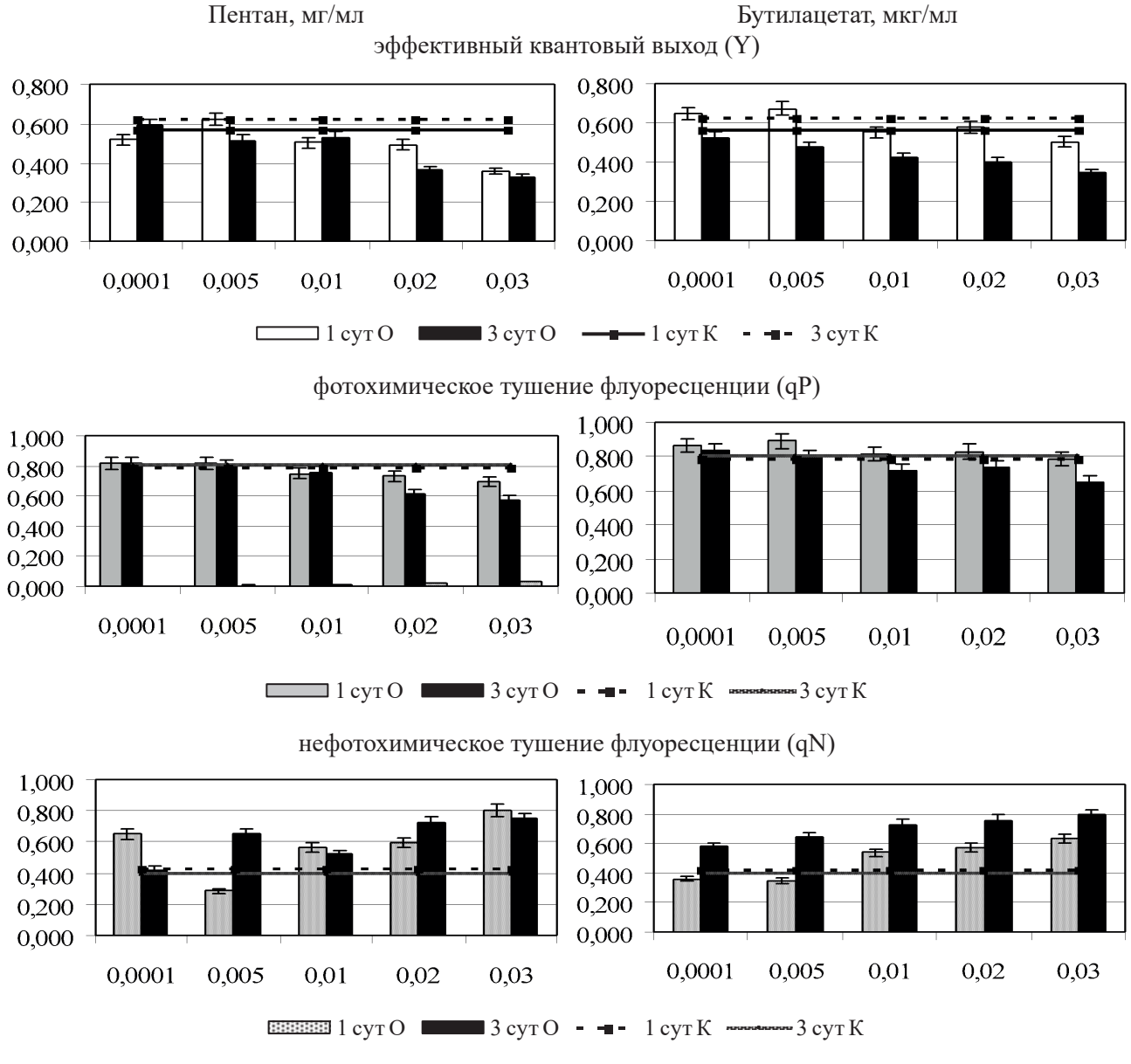


Рис. 2. Влияние различных концентраций летучих органических соединений (ось абсцисс) на эффективный квантовый выход (Y (II), отн. ед., ось ординат), фото- и нефотохимическое тушение флуоресценции (qP, qN, отн. ед., ось ординат) фотохимических реакций ФС II в листьях овсяницы тростниковой *Festuca arundinacea* Schreb. (О – опыт, К – контроль)

Таблица 1

Значения параметров дыхания и фотосинтеза под действием летучих органических соединений в листьях овсяницы тростниковой *F. arundinacea*

Период исследований	Значения показателей дыхания и фотосинтеза			
	контроль	пентан	бензол	бутилацетат
1 сут, фотосинтез истинный (скорость выделения кислорода), мкмоль $O_2 \cdot c^{-1} \cdot м^{-2}$				
1 пдк	0,402	0,573	0,351	0,283
100 пдк	0,402	0,403	0,225	0,226
300 пдк	0,402	0,342	0,176	0,202
3 сут, фотосинтез истинный (скорость выделения кислорода), мкмоль $O_2 \cdot c^{-1} \cdot м^{-2}$				
1 пдк	0,358	0,367	0,307	0,249
100 пдк	0,358	0,336	0,304	0,240
300 пдк	0,358	0,320	0,273	0,216
1 сут, дыхание (скорость поглощения кислорода), мкмоль $O_2 \cdot c^{-1} \cdot м^{-2}$				
1 пдк	-0,196	-0,290	-0,176	-0,127
100 пдк	-0,196	-0,226	-0,104	-0,135
300 пдк	-0,196	-0,177	-0,102	-0,081
3 сут, дыхание (скорость поглощения кислорода), мкмоль $O_2 \cdot c^{-1} \cdot м^{-2}$				
1 пдк	-0,179	-0,278	-0,176	-0,158
100 пдк	-0,179	-0,191	-0,227	-0,152
300 пдк	-0,179	-0,219	-0,182	-0,158

В табл. 2 обобщены результаты определения уровня корреляционных взаимодействий между исследованными параметрами.

Приведенные данные указывают на тесную отрицательную корреляционную взаимосвязь между содержанием бесфитольных форм хлорофилла и скоростью фотосинтеза и положительная − между содержанием фитольных форм и скоростью фотосинтеза, а также бесфитольных форм и скоростью дыхания.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (r) между содержанием разных форм хлорофилловых пигментов и показателями интенсивности дыхания и фотосинтеза (скорости процессов) в листьях овсяницы тростниковой *F. arundinacea*

Углеводород	Бесфитольные – дыхание		Бесфитольные – фотосинтез		Фитольные – дыхание		Фитольные – фотосинтез	
	1 сут	3 сут	1 сут	3 сут	1 сут	3 сут	1 сут	3 сут
Пентан	0,75*	0,62*	-0,47	0,15	-0,94*	-0,88*	0,99*	-0,53*
Гексан	0,94*	0,64*	-0,52*	-0,85*	-0,98*	-0,93*	0,88*	0,50*
Бензол	0,89*	0,42	-1,0*	-0,25	-0,82*	0,49*	0,99*	0,93*
о-Ксилол	0,98*	0,64*	-0,77*	-0,55*	-0,99*	-0,97*	0,87*	0,99*
Бенз(а)пирен	0,84*	-0,11	-0,61*	-0,57*	-0,90*	0,58*	0,51*	0,90*
Бутилацетат	0,80*	-0,34	-0,53*	-0,99*	-0,84*	0,30	0,46	0,99*

* Обозначены достоверные коэффициенты корреляции при $p < 0,05$.

Также выявлена высокая отрицательная корреляция между изменением qN и содержанием фитольных хлорофилловых пигментов (для пентана, гексана, бензола, о-ксилола, бенз(а)пирена и бутилацетата коэффициенты корреляции соответственно равны -0,62; -0,38; -0,73; -0,69; -0,59; -0,57), а также положительная корреляция между qN и содержанием хлорофиллида (для пентана, гексана, бензола, о-ксилола, бенз(а)пирена и бутилацетата коэффициенты корреляции соответственно равны 0,72; 0,66; 0,80; 0,76; 0,43; 0,87). Предположено, что обнаруженные количественные различия в действии на растения исследованных углеводородов связаны не с их водорастворимостью, а, скорее, с разным сродством к мембранным липидам (липофильностью). Полученные результаты свидетельствуют о высокой информативности исследования совокупности параметров фотосинтетической деятельности в качестве маркеров стрессового состояния растений для выявления влияния углеводородов техногенного происхождения на окружающую среду.

Библиографические ссылки

1. Об утверждении и введении в действие нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 08.11.2016 г., № 113 [Электронный ресурс]. URL: http://pravo.by_1485896400.pdf. (дата обращения: 22.02.2025).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИВЫ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ЗЕМЛЯХ

Е. Урошевич[1], Д. Станкович[2], Б. Крстич[3], О.Родькин[4]

[1] *ЧП «Электропривреда Србие» (Электроснабжающая компания, Балканская 13, 11000, Белград, Сербия, urosevicj75@gmail.com*
[2] *Институт междисциплинарных исследований Белградского университета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Белград, Сербия, dstankovic@imsi.bg.ac.rs*
[3] *Университет Нови Сад, Факультет Биологии и экологии, Trg Dositeja Obradovića 2, г. Novi Sad 21000, Сербия, borivoj.krstic@dbe.uns.ac.rs*
[4] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aleh.rodzkin@rambler.ru*

Повышенные концентрации тяжелых металлов приводят к деградации почвы, снижению урожайности растений и снижению качества сельскохозяйственной продукции, что напрямую угрожает людям, животным и экосистеме. Оценка потенциала накопления тяжелых металлов в биомассе растений ивы различных клонов проводилась в экологических условиях Сербии и Республики Беларусь. По результатам экспериментов можно констатировать, что несмотря на различие природно-климатических условий наблюдается, что одни клоны ивы даже одного вида накапливают тяжелые металлы более интенсивно. Этот фактор позволяет в определенной степени прогнозировать и регулировать вынос тяжелых металлов с биомассой, что необходимо учитывать при использовании биомассы.

Ключевые слова: растения ивы; клоны; почва; тяжелые металлы; биомасса.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF CULTIVATION OF ENERGY WILLOW ON LANDS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS

J. Urošević[1], D. Stanković[2], B. Krstic[3] O. Rodzkin[4]

[1] *PE «Elektroprivreda Srbije» (Electrical Power Supply Company), Balkanska 13, 11000 Belgrade, Serbia, urosevicj75@gmail.com*
[2] *Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade, Kneza Višeslava 1, 11000 Belgrade, Serbia, dstankovic@imsi.bg.ac.rs*
[3] *University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad 21000, Serbia, borivoj.krstic@dbe.uns.ac.rs*
[4] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, aleh.rodzkin@rambler.ru*

Increased concentrations of heavy metals lead to soil degradation, reduced plant productivity and lower agricultural product quality, which poses a direct threat to people, animals, and the ecosystem. The assessment of the potential for accumulation of heavy metals in the biomass of willow plants of various clones was carried out in the ecological conditions of Serbia and the Republic of Belarus. Based on the experimental results, it can be stated that despite the difference in natural and climatic conditions, it is observed that some willow clones of even the same species accumulate heavy metals more intensively. This factor allows to a certain extent to predict and regulate the removal of heavy metals with biomass, which must be taken into account when using biomass.

Keywords: willow plants; clones; soil; heavy metals; biomass.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-251-254

Введение

Химические элементы, атомная плотность которых превышает 5 г/см^3, классифицируются как тяжелые металлы. Наибольшее загрязнение окружающей среды вызывают такие металлы и металлоиды, как мышьяк (As), кадмий (Cd), хром (Cr), медь (Cu), свинец (Pb), никель (Ni), ртуть (Hg), селен (Se), серебро (Ag), цинк (Zn), алюминий (Al), цезий (Cs), кобальт (Co), марганец (Mn), молибден (Mo), стронций (Sr) и уран (U) [1]. Следует отметить, что некоторые из них, в небольших концентрациях, необходимы для оптимального роста и развития растений (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Co и Mo), в то время как другие оказывают вредное воздействие даже при очень низких концентрациях в почве, воде и атмосфере и определяются как загрязнители окружающей среды (Cd, Pb, Hg и Cr) [2]. Хотя накопление и концентрация тяжелых металлов в окружающей среде является следствием естественных литогенных и педогенных процессов, крупнейшие источники тяжелых металлов имеют антропогенное происхождение [3]. Независимо от происхождения, повышенные концентрации тяжелых металлов в почве приводят к ее деградации, снижению урожайности растений и ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, что подвергает опасности людей, животных и экосистемы [4; 5].

Последствия, которые могут возникнуть из-за присутствия тяжелых металлов в окружающей среде, зависят от размера и типа загрязнения, а также синергетического действия с другими загрязнителями, но главная проблема заключается в том, что тяжелые металлы не могут быть уничтожены, а только перемещены в зоны биосферы, где их воздействие будет менее пагубным, то есть трансформированы и депонированы в неактивные химические формы [6].

Одним из подходов к рекультивации почв является фиторемедиация, которая считается экологической альтернативой химическим технологиям [6]. По данным Агентства по охране окружающей среды США (EPA) [7], фиторемедиация определяется как технология, которая использует растения и их ризосферные микроорганизмы для удаления, разложения или фиксации вредных химических веществ, присутствующих в почве, подземных и поверхностных водах, а также в атмосфере. Во многих развитых странах фиторемедиация была принята в качестве подходящей стратегии для рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами, из-за ее всеобщего признания общественностью и многочисленных преимуществ этого метода по сравнению с другими методами физико-химической рекультивации. Это метод, который приносит выгоду от низких инвестиций и затрат на техническое обслуживание по сравнению с другими формами рекультивации [9]. Фиторемедиация в форме фитоэкстракции это технология, которая удаляет тяжелые металлы, металлоиды и радионуклиды из окружающей среды с использованием подходящих видов и генотипов растений, способных поглощать все эти загрязнители и накапливать их в частях растительной ткани [2]. Такой подход подразумевает использование растений, способных поглощать загрязняющие вещества через корневую систему и переносить и/или накапливать их в надземных частях – стебле и листьях. Преимущество быстрорастущих видов лиственных деревьев, таких как виды из рода *Salix* (ива), заключается именно в этой способности, поэтому их можно использовать для рекультивации местообитаний, загрязненных различными агентами, в том числе тяжелыми металлами.

Как перспективная культура фиторемедиации, ивы изучались с начала последнего десятилетия 20-го века. Исследования показали выраженную способность этих видов поглощать и накапливать большие количества Zn и Cd. Также было показано, что концентрации Cd, Zn и Cu в почве уменьшаются после рекультивации с помощью ивы прутовидной (*Salix viminalis* L.). При этом было установлено, что потенциал фитоэкстракции тяжелых металлов во многом зависит от конкретных характеристик генотипов ивы, в том смысле, что определенные генотипы ив могут извлекать больше тяжелых металлов из почвы по сравнению с другими генотипами того же вида.

С другой стороны, необходимо учитывать, при высоком уровне содержания тяжелых металлов в почве их концентрация в продукции (биомассе) может достигать нежелательных для экологически безопасного использования величин. Таким образом, необходимо использовать механизм позволяющий в определенной степени прогнозировать и регулировать вынос тяжелых металлов с биомассой.

Возможность осуществления такого подхода основано на следующих предположениях:

– существует возможность использования различных генотипов ивы для фиторемедиации почвы, загрязненной тяжелыми металлами;

– существуют различия между генотипами с точки зрения способности фитоэкстрагировать определенные тяжелые металлы из почвы;

– существует потенциал для отбора наиболее эффективных генотипов ивы для фиторемедиации при выращивании плантаций.

Эта научная гипотеза была проверена в экспериментальных исследованиях, представленных в данной публикации.

Место и методы исследований

В Республике Сербия почва для эксперимента была взята из района горнодобывающего бассейна Колубара, перевезена и засыпана на территорию питомника факультета лесного хозяйства Белградского университета. Дополнительно перед посадкой культур субстрат поливали водным раствором солей тяжелых металлов: Cd, Cu, Cr, 2O7, Na, Ni и Pb. Контролем служили почвы из питомника лесного факультета, где выращивался контрольный растительный материал. Объектами исследований служили: клон ивы вида *Salix viminalis* (№ 1) и три клона ивы вида *Salix alba* (347 ,NS 73/6 и B-44), номера соответственно 2, 3 и 4.

В Республике Беларусь полевые опыты по оценке содержания и коэффициентов биологического накопления тяжелых металлов в листьях ивы были заложены на легкосуглинистых дерновоподзолистых почвах на Кричевском экспериментальном участке.

Почвы города Кричева и прилегающих территорий являются одними из самых загрязненных тяжелыми металлами в стране, что связано с воздействием ряда промышленных предприятий, в том числе производства цемента. Объектами исследований служили: клон ивы *Jorr* вида *Salix viminalis* и три клона ивы вида *Salix alba* (282, 378 и 373-64/8).

Результаты исследований

Для эффективного культивирования плантаций ивы в различных условиях, в том числе на загрязненных землях, наряду с хозяйственно-полезными признаками особое значение имеют экологические характеристики, такие как коэффициенты биологического накопления тяжелых металлов [31-A]. Результаты исследований по данному параметру для клонов *Salix alba* представлены в таблице 1. Самые низкие показатели содержания в листьях и коэффициенты биологического накопления всех тяжелых металлов за исключением меди характерны для клона 73-64/8. Для растений сорта *Jorr* характерны более высокие по сравнению с клонами *Salix alba* коэффициенты биологического накопления марганца, цинка и кадмия (за исключением клона 378). Свинец наиболее активно накапливали растения клона 378. По никелю более высокие коэффициенты биологического накопления наблюдались для клонов *Jorr* и 282.

Таблица 1.

Содержание в почве и листьях растений ивы тяжелых металлов и коэффициенты их биологического накопления. Экспериментальный участок Кричев.

	Тяжелые металлы (среднее содержание), мг/кг					
	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Mn
Почва	1,50	45,11	10,17	3,47	3,42	650,8
Jorr	0,09	183,08	0,67	5,28	0,17	122,0
282	0,07*	109,87*	0,62	8,34*	0,19	77,3*
378	0,09	176,42	1,07	8,55*	0,12*	29,0*
73-64/8	0,05*	95,52*	0,26*	9,30*	0,10*	24,5*
$НСР_{05}$	0,02	9,23	0,36	1,09	0,05	18,5

* Статистически значимые по наименьшей существенной разнице (НСР) различия с эталонным сортом *Jorr* при $p<0,05$

По результатам исследований выполненных в Сербии наиболее активно тяжелые металлы накапливал клон ивы № 4. Потенциал накопления тяжелых металлов во многом зависит от генотипической специфичности растений ив.

Этот фактор в первую очередь относится к Cd и Cr, которые, по сравнению с другими генотипами, в наибольшей степени накапливались клоном 4 (347) и в несколько меньшей степени клоном 2 (B-44). Клон 3 (NS 73/6) белой ивы также обладал выраженной способностью накапливать Cr, в отличие от клона ивы прутовидной.

Заключение

По результатам исследований выполненных в различных климатических зонах можно сделать следующий вывод:

Степень накопления тяжелых металлов ивами зависит от генотипа, и существует специфика генотипов ивы в накоплении тяжелых металлов из почвы. Можно выделить генотипы, избирательные для почвы, загрязненной определенными тяжелыми металлами.

Наибольшая способность к накоплению Ni и Pb у корней, Cu поглощается всеми органами растения, тогда как Cd больше поглощается листьями.

Библиографические ссылки

1. *McIntyre T.* Phytoremediation of heavy metals from soils. Adv. Biochem. Engin./Biotech. 2003, 78, 97–123.

2. *Borišev M.* Potential ofWillow Clones (Salix spp.) in Phytoextraction of Heavy Metals. Ph.D. Dissertation, University of NoviSad, Novi Sad, Serbia, 2010.

3. *Kastori R., Petrovi´c N.; Petrovi´c M.* Effect of lead on water relations, proline concentration and nitrate reductaze activity insunflower plants. Acta Agron. Acad. Scient. Hungar. 1996, 44, 21–28.

4. *Blaylock M. J., Huang J. W.* Phytoextraction of metals. In Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment;Raskin, I., Ensley, B. D., Eds.;Wiley: New York, NY, USA, 2000; pp. 53–70.

5. *Long X. X., Yang X. E., Ni W. Z.* Current status and perspective on phytoremediation of heavy metal polluted soils. J. Appl. Ecol.2002, 13, 757–762.

6. *Pilon-Smiths, E.* Phytoremediation. Ann. Rev. Plant Biol. 2005, 56, 15–39. [CrossRef] [PubMed]

7. *Pilipovi´c A.; Klašnja B.; Orlovi´c S.* The role of poplar in phytoremediation of soil and groundwater. Topola 2002, 169/170, 57–66.

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА И ВИДА ФОРОФИТА НА АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛИ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОЩАДИ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ЛИШАЙНИКАМИ ОТ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

О. Н. Федосеев[1)], **Д. А. Морозов**[1)]

[1)] *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ул. Германа Титова, 28, 440028, г. Пенза, Российская Федерация, OlegF1962@mail.ru*

Аннотация. Для получения объективной картины загрязнения атмосферного воздуха необходимы исследования в двух направлениях: инструментального химического анализа и биоиндикации. Используя математическую модель зависимости площади проективного покрытия лишайниками от концентрации в воздухе оксидов азота и серы, а также освещенности и относительной влажности воздуха была разработана функция подгонки, использующая два дополнительных фактора влияния – вида (клен, тополь, вяз) и возраста форофита, оцененного по диаметру ствола. В результате относительная погрешность модели снизилась в среднем на 25,7 %.

Ключевые слова: лихеноиндикация; загрязнение атмосферы; математические модели.

INFLUENCE OF AGE AND TYPE OF PHOROPHYTE ON ADEQUACY OF MODEL OF DEPENDENCE OF AREA OF PROJECTIVE LICHEN COVERAGE ON ENVIRONMENTAL FACTORS

O. N. Fedoseev[1)], **D. A. Morozov**[1)]

[1)] *Penza State University of Architecture and Construction, Germana Titova str., 440028, Penza, Russian Federation, OlegF1962@mail.ru*

Annotation. To obtain an objective picture of atmospheric air pollution, research is required in two directions: instrumental chemical analysis and bioindication. Using a mathematical model to describe the dependence of the area of projective lichen cover on the concentration of nitrogen and sulfur oxides in the air, as well as illumination and relative air humidity, a fitting function was developed that uses two additional influencing factors – species (maple, poplar, elm) and the age of the phorophyte, estimated by trunk diameter. As a result, the relative error of the model decreased by an average of 25.7 %.

Keywords: lichenoindication; air pollution; mathematical models.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-255-260

Использование организмов, реагирующих на загрязнение окружающей среды изменением численности своей популяции, имеет ряд преимуществ. Оно позволяет существенно сократить или даже исключить применение дорогостоящих и трудоемких физико-химических методов анализа. Биоиндикаторы суммируют значимые биологические эффекты, как загрязнений, так и изменения других факторов среды. Это используется при определении скорости происходящих изменений, путей и мест концентрации в экосистемах токсикантов, делать выводы о степени опасности для человека и полезной биоты конкретных веществ или их сочетаний.

Одним из направлений биоиндикационного определения загрязнения атмосферного воздуха служит лихеноиндикация [1]. Для организации математической модели зависимости площади проективного покрытия лишайниками от факторов среды имеет значение не только уровни загрязнения воздуха, но и характер местообитания лишайников. В исследованиях

прошлых лет [2] выяснено, что общее влияние факторов, организованных в исследовании (загрязненности воздуха окислами азота и серы, освещенности и относительной влажности) составило 45 %.

Целью настоящей работы стало выяснение – как влияет на площадь проективного покрытия лишайниками вид и возраст форофита, а также разработка корректирующих компонентов в разработанную нами ранее модель [2].

Материал и методы. Для проведения исследований были выбраны ранее использованные площадки, расположенные рядом с интенсивной транспортно-дорожной сетью в ЦПКиО им. Белинского, и в скверах, расположенных рядом с библиотекой им. Лермонтова города Пензы. Исследования проводились в 2022-2024 гг. в три этапа. Измерение загрязненности атмосферы производилось газоанализатором УГ-2, аспиратор НП-3М, зонд пробоотборный ЗП-ГХК-ПВ, индикаторные трубки серии ТИ, тестированные в лаборатории экологического мониторинга ЦГСЭН №59. Диаметр ствола измерялся на высоте 1,3 м. Определение видов лишайников проводились согласно справочнику-определителю [3]. Для определения степени комфортности условий среды произрастанию лихенофлоры использовали методикой измерения проективного покрытия А.В. Пчёлкина и А.С. Боголюбова [4]. Аппроксимация зависимостей производилась с помощью программы Simple-Formula. Для исследования использовались следующие виды форофита: клен американский, тополь черный, вяз и липа мелколистная.

Математическая модель, используемая для доработки имеет вид:

$$П = \frac{0,42}{C_{SO_2} + C_{NOx}} + \frac{29,8 \cdot \varphi}{L} - 17,1(C_{SO_2} + C_{NOx}) - 0,16\frac{L}{\varphi}, \quad (1)$$

где: C_{SO2} − концентрация диоксида серы, мг/м3; C_{NOx} − концентрация оксидов азота, мг/м^3; ϕ − относительная влажность атмосферного воздуха, %; L − освещенность, Лк [2].

Результаты и обсуждение. Для доработки обобщенной модели зависимости площади обрастания лишайниками форофита необходимо воспользоваться методом функции подгонки [5]. Для этого необходимо произвести регрессионный анализ зависимости разницы между теоретическими и эмпирическими значениями проективного покрытия и диаметром ствола.

Корреляционный анализ (табл. 1) показал, что связь между этими факторами очень сильная, что подтверждает принятую нами ранее рабочую гипотезу о том, что ошибку в модели формируют неучтенные факторы, а именно, возраст деревьев и качественные характеристики форофита, его “адгезия” к лишайникам. Все коэффициенты получились выше среднего и достоверны для порога вероятности не ниже 0,95 (кроме липы со слабой репрезентативностью выборки).

Таблица 1.

Результаты анализа связи разницы теоретических и эмпирических значений проективного покрытия форофита и диаметра деревьев

Вид дерева	Коэффициент корреляции $r \pm m_r$	Достоверность по Стьюденту	Стандарты Стьюдента
Клен	**0,78±0,12**	6,7	{2,1-2,8-3,7}
Тополь	**0,53±0,18**	2,9	{2,1-2,8-3,8}
Вяз	**0,76±0,12**	6,1	{2,1-2,8-3,7}
Липа	0,75±0,33	2,3	{2,8-4,6-8,6}

Выделены достоверные значения.

В качестве функции подгонки нами было выбрано отношение теоретической площади покрытия к площади, полученной в натурных исследованиях 2023 и 2024 гг. (коэффициент возраста (V)).

$$V=Пт/Пэ, \quad (2)$$

где: *V* – коэффициент возраста; Пт – теоретическое проективное покрытие форофита, %; $П_э$ – эмпирическое проективное покрытие форофита, %;

Доказательство зависимости диаметра ствола и возраста дерева не требуется, ибо данный факт в условиях нормальной окружающей среды не подлежит сомнению, а в практическом использовании более удобным показателем как раз является диаметр ствола, а не возраст дерева (отпадает необходимость травмировать дерево для определения его возраста).

Однако в исходном виде связать диаметр ствола форофита с функцией подгонки было бы неверно, так как в исследованиях прошлых лет диаметр форофита имел не нулевое значение. В этой связи в качестве анализируемого фактора влияния нами использованы не абсолютные значения диаметра ствола, а отношение между диаметром ствола в наших исследованиях и средним диаметром ствола в предыдущих исследованиях [2] (30 см). Функция подгонки будет выглядеть следующим образом:

$$V=f(D/30), \quad (3)$$

где *D* – диаметр ствола дерева, см.

Связь значений функции подгонки и параметра D/30 оказалась очень высокой и достоверной (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты полного корреляционного анализа зависимости функции возраста и коэффициента подгонки

Вид дерева	Корреляция r±mr	Достоверность, t	tst
Клен	0,73±0,13	5,6	{2,1-2,8-3,7}
Тополь	0,95±0,06	16,2	{2,1-2,8-3,8}
Вяз	0,92±0,07	12,5	{2,1-2,8-3,7}
Коэффициент прямолинейной связи r2±mr2		Достоверность, F	Fst
Клен	0,53±0,10	5,4	{2,6-3,9-6,0}
Тополь	0,90±0,02	44,9	{2,6-3,9-6,0}
Вяз	0,85±0,03	26,8	{2,6-3,9-6,0}
Критерий криволинейности			Fst
Клен	0,23		{2,8-4,2-6,6}
Тополь	2,80		{2,8-4,6-6,6}
Вяз	0,11		{2,8-4,2-6,6}

Полный корреляционный анализ также показал, что исследуемую функцию можно выразить с помощью линейной зависимости (высокие и достоверные показатели прямолинейной связи и недостоверные критерии криволинейности (кроме тополя, у которого критерий криволинейности оказался достоверным для нижнего порога вероятности (0,95). Графическое изображение данной зависимости можно увидеть на рис. 1.

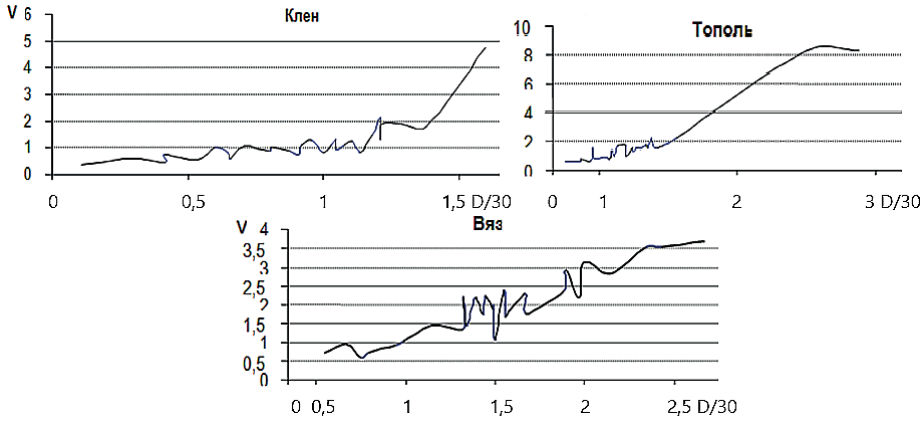


Рис. 1. Зависимости коэффициента подгонки (V) от функции возраста (D/30)

Интересно отметить, что полученные графики сильно напоминают логистические кривые роста популяции, особенно в их нижней экспоненциальной части. И это закономерно, так как показатель *V* по своей сути представляет собой относительную плотность популяции лишайников, а переменная *D*/30 связана с возрастом форофита, а, следовательно, и с возрастом популяции лишайников. В связи с этим правильно было бы вводить поправочный коэффициент с помощью логистического уравнения популяционного роста. Использование в расчете возрастного коэффициента логистического уравнения позволит применять модель 1 [2] для любого возраста форофита, а не только для тех, которые оказались у нас в выборке. Но это задача будущих исследований, нам же осталось аппроксимировать исследуемые зависимости и ввести возрастной коэффициент в целевую функцию зависимости проективного покрытия от факторов среды.

Результаты аппроксимации представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Параметры линейной зависимости возрастного коэффициента (*V*) от функции (*D*/30) *V*=*A*(*D*/30) +*B*

Вид дерева	A	B	δ	Макс. отклонение
Клен	1,65	-0,28	0,15	-0,61
Тополь	3,96	-3,25	0,29	1,35
Вяз	1,60	-0,42	0,07	0,44

Зависимость скорости обрастания форофита лишайниками сугубо видоспецифична, однако, можно заметить, что коэффициенты регрессии линейной зависимости (см. табл. 3) у клена и вяза отличаются от коэффициентов тополя гораздо больше, чем друг от друга. Это может быть связано, во-первых с более высокой скоростью роста тополя, по сравнению с кленом и, тем более, с вязом, во-вторых тополи имеют пахучую смолу, имеющую, по-видимому, какое-то действие на скорость их заселения лишайниками. В итоге целевая функция принимает вид:

$$П = \left(\frac{0,42}{C_{SO_2} + C_{NO_x}} + \frac{29,8\varphi}{L} - 17,1(C_{SO_2} + C_{NO_x}) - 0,16\frac{L}{\varphi} \right) / V \qquad (4)$$

где: C_{SO2} – концентрация диоксида серы, мг/м^3; C_{NOx} – концентрация оксидов азота, мг/м^3; ϕ – относительная влажность атмосферного воздуха, %; L – освещенность, Лк; V – возрастной коэффициент, равный для клена V=0,055D-0,28; тополя V=0,132D-3,25; вяза V=0,053D-0,42; D – диаметр деревьев на высоте 1,3 м, см.

Полученная модель использовалась в виде компьютерной программы. Данные по проверке адекватности полученной математической модели представлены на рис. 2.

Разность эмпирического и теоретического рядов регрессий оказалась недостоверной (табл. 4). Критерий разности среднего уровня течения процесса и критерии непараллельности течения процессов во всех случаях низкие и недостоверные. Следовательно, мы не можем сделать заключение о различии данных полевых наблюдений и теоретических, рассчитанных с помощью модели 4.

Таблица 4.

Результаты сравнительного анализа динамики процессов связи факторов среды и площади проективного покрытия по типу двухфакторного дисперсионного комплекса

Вид дерева	Критерий различия среднего уровня	F_{st}		Критерий непараллельности		F_{st}
Клен	1,8	{4,0-7,2-12,3}		0,5		{2,4-3,4-5,0}
Тополь	1,5	{4,1-7,4-13,0}		0,5		{2,5-3,8-5,3}
Вяз	0,2	{4,0-7,2-12,4}		0,1		{2,4-3,4-5,0}
Влияние факторов среды на результативный признак						
	Сила влияния	Досто-верность, F	F_{st}	Сила влияния	Досто-верность, F	F_{st}
	Теоретические значения			Натурные наблюдения		
Клен	**0,31**	2,6	{2,6-3,9-6,0}	**0,52**	5,1	{2,6-3,9-6,0}
Тополь	**0,52**	3,9	{2,8-4,2-6,8}	**0,66**	7,1	{2,8-4,2-6,8}
Вяз	**0,41**	3,2	{2,6-4,0-6,1}	**0,40**	3,1	{2,6-4,0-6,1}

Влияние места расположения форофита на проективное покрытие во всех случаях достоверно для нижнего порога вероятности безошибочных прогнозов. Для всех видов деревьев влияние условий окружающей среды, организованных в математической модели может составить 34 ÷ 60 % от влияния всей суммы факторов.

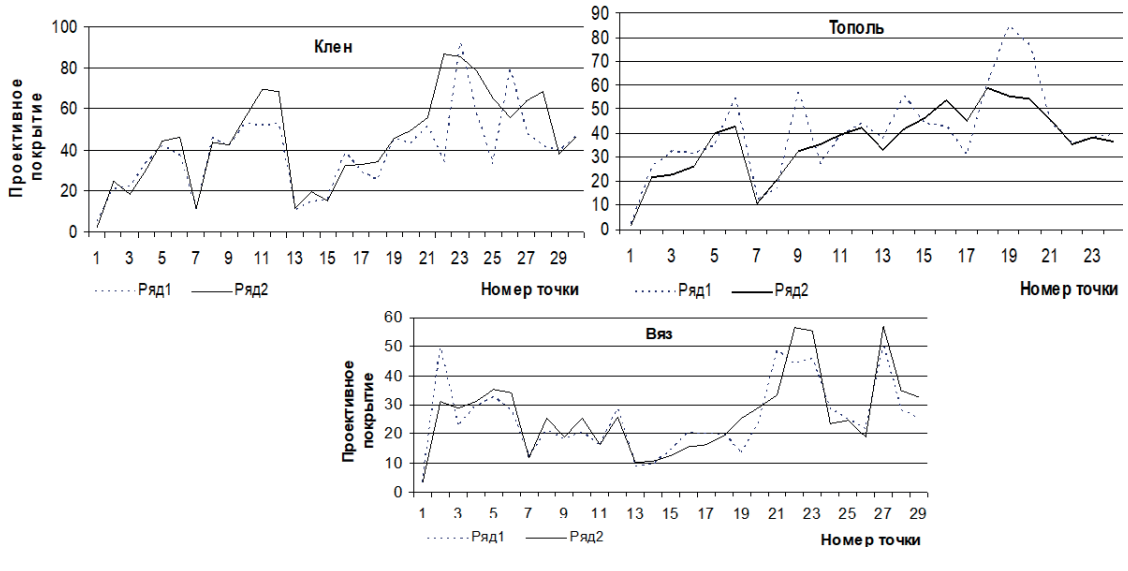


Рис. 2. Сравнение эмпирических данных площади проективного покрытия и данных, полученных с помощью математической модели. Ряд 1 – данные модели, ряд 2 – эмпирические точки

Погрешность математической модели 4 составляет: для клена 12,7 ± 5,4 %; для тополя 10,1 ± 6,2 %; для вяза 4,3 ± 4,8%. Для сравнения приведем погрешности, полученные при использовании для тех же расчетов модели 1 [2], они составляют: для клена 19,7 ± 7,3 %; для тополя 23,6 ± 8,5 %; для вяза 60,8 ± 12,3%. Налицо неоспоримое преимущество введения в модель функции возраста.

Заключение. Не существует модели универсальной, а усложнять модели, в смысле введения все новых факторов, влияющих на процесс проективного покрытия форофита лишайниками, можно безгранично. И в каждой практической задаче требования, ею предъявляемые, и будут определять тип используемых для решения моделей. В данном случае, используя модель 4, можно с достаточно высокой достоверностью прогнозировать загрязнение атмосферы оксидами азота и серы.

Библиографические ссылки

1. *Козинцев С. Н.* Модели и методика биоиндикационной оценки геоэкологического состояния атмосферы техногенно нарушенных территорий: дис. канд. геогр. наук: 25.00.36.- ФГБОУ ВПО Воронежский государственный университет. Воронеж. 2013. 137 с

2. *Федосеев О. Н., Хурнова Л. М., Мамина Д. Х.* Исследование зависимости проективного покрытия лишайниками форофита от ключевых факторов среды // Естественные и технические науки. №10 (173). М., Издательство «Спутник+», 2022. С. 71-76.

3. Справочник-определитель: URL: http://www.fadr.msu.ru/opred/ (7.01.2025).

4. *Пчелкин А. В., Боголюбов А. С.* Методы лихеноиндикации загрязнений окружающей среды // М., Экосистема.1997. 27 с.

5. Нелинейное оценивание // Электронный учебник StatSoft. 1998. URL: https://dit.isuct.ru/IVT/BOOKS/IS/is7/Modules/stnonlin.html (27.01.2025).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ В СТРОЕНИИ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А. Н. Хох

Государственное учреждение «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь», ул. Филимонова 25, 220114, г. Минск, Беларусь, 1ann1hoh@gmail.com

Проведено исследование морфологических параметров пыльцы сосны обыкновенной в разных районах г. Минска и зоне условного контроля. Выявлено 10 типов аномалий. По результатам сравнения количества аномалий пыльцевых зерен в зависимости от степени антропогенной нагрузки с использованием H-критерия Краскела-Уоллиса установлена достоверность различий на уровне от низкой ($p \leq 0,05 > 0,01$) до средней ($p \leq 0,01 > 0,001$) статистической значимости для 8 типов аномалий. Обнаружено, что пыльцевые зерна мелких размеров, с 4-мя воздушными мешками, а также тетрады встречались только при очень высокой и критической степенях антропогенной нагрузки. Показана возможность использования пыльцы сосны обыкновенной в биоиндикационных целях.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; пыльца; аномалии; антропогенная нагрузка; городская среда.

MORPHOLOGICAL DEVIATIONS IN STRUCTURE OF POLLEN GRAINS OF SCOTS PINE UNDER ANTHROPOGENIC STRESS

A. N. Khokh

Scientific and Practical Centre of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus, Philimonova str., 25, 220114, Minsk, Belarus, 1ann1hoh@gmail.com

The morphological parameters of pine pollen in different districts of Minsk and the conditional control zone were studied. 10 types of anomalies have been identified. Based on the results of comparing the number of anomalies in pollen grains depending on the degrees and anthropogenic load using the Kruskal-Wallis H-test, the reliability of differences at the level of low ($p<0.05>0.01$) to medium ($p<0.01>0.001$) statistical significance for 8 types of anomalies was established. It was found that small pollen grains with 4 air sacs, as well as tetrads, were found only at very high and critical degrees of anthropogenic stress. The possibility of using Scots pine pollen for bioindicative purposes is shown.

Keywords: Scots pine; pollen; anomalies; anthropogenic load; urban environment.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-261-265

В настоящее время известно, что у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в неблагоприятных условиях обитания наблюдаются разнообразные отклонения в росте и развитии, в том числе и в развитии мужского гаметофита, что проявляется в снижении качества пыльцы – ее жизнеспособности, варьировании величины, возникновении различных типов аномалий.

Вопросам изменчивости пыльцевых зерен (далее – п.з.) у сосен в условиях техногенного загрязнения и их использования в качестве индикатора состояния окружающей среды посвящен ряд работ [1-2]. При этом следует отметить, что некоторые ученые связывают возникновение аномалий развития п.з. не только с воздействием антропогенной нагрузки, но и с естественными генетическими нарушениями и ответной реакцией в ответ на изменение природно-климатических факторов [3-4]. Изложенное свидетельствует о необходимости дополнительных исследований в данной области.

Цель работы – провести сравнительный анализ качества пыльцы P. sylvestris L. при разной степени антропогенной нагрузки, в том числе определить основные типы аномалий строения п.з.

Исследования были проведены во время весеннего пыления 2023 года на территории г. Минска, а также на фоновой (контрольной) территории ГПУ «Березинский биосферный заповедник». Для каждого пункта отбора (далее – ПО) ранее были рассчитаны индексы флуктуирующей асимметрии [5], в соответствии с которым они были классифицированы по степени антропогенной нагрузки: норма (3 ПО), слабая (4 ПО), умеренная (3 ПО), высокая (3 ПО), очень высокая (4 ПО) и критическая (3 ПО).

На каждом ПО с 5-ти модельных деревьев в средней части кроны отбирались микростробилы, которые впоследствии фиксировались в 70 % этиловом спирте. Для изучения п.з. использована общепринятая методика исследования фертильности пыльцы ацетокарминовым методом.Полученные микропрепараты просматривались в световом биологическом микроскопе с системой вывода и визуализации изображения для лабораторных исследований Nicon ECLIPSE E200 (Nikon, Япония) с фотокамерой Delta Pix при 400-кратном увеличении. Для каждого ПО было изучено по 500 п.з. Статистическая обработка проводилась с использованием статистического пакета SPSS v.20.0 (IBM, США).

В таблице 1 представлены усредненные данные по распределению 10-ти выявленных типов аномалий для 6 выборок с разной степенью антропогенной нагрузки, сформированных на основании ранее рассчитанных баллов ИФА.

Аномалии в развитии пыльцевых зерен сосны обыкновенной

Тип		Степень антропогенной нагрузки					
		норма	слабая	умеренная	высокая	очень высокая	критическая
1	один неокрашенный воздушный мешок	0,5*	1,1	0,9	1,9	3,5	6,5
2	два неокрашенных воздушных мешка	1,5	2,2	1,8	1,9	4,0	4,9
3	без воздушных мешков	0,3	0,8	0,9	1,1	4,1	4,2
4	деформированные воздушные мешки	0,1	0,5	0,5	1,1	1,8	3,3
5	подогнутые воздушные мешки	0,9	1,5	1,4	1,7	3,3	3,4
6	3 воздушных мешка	1,1	1,0	0,9	1,4	1,5	1,9
7	4 воздушных мешка	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,1
8	недоразвитое пыльцевое зерно	1,3	0,9	0,9	1,4	1,0	1,5
9	малое пыльцевое зерно	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,3
10	тетрада	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
Всего		5,7	7,9	7,2	10,5	23,4	29,7

*Частота встречаемости от общего числа изученных п.з.

Изучение п.з., собранных от деревьев в зоне условного контроля, показало, что процент отклонений в их развитии небольшой и составляет 5,7 %. Частота встречаемости аномальных п.з. в местах с различной степенью антропогенной нагрузки варьирует от 7,2 до 29,7 % от общего числа изученных п.з.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что с ростом антропогенной нагрузки наблюдается рост числа аномалий п.з.: в 1,4 раза – для слабой степени и в 5,2 раза – для критической. Доминирующие типы аномалий связаны с нарушением фертильности п.з. Следует также отметить, что в зоне условного контроля, а также при слабой и умеренной степенях антропогенной нагрузки отсутствовали п.з. мелких размеров, п.з. с 4-мя воздушными мешками, а также тетрады. Возможно, данные типы аномалий можно считать диагностическими признаками для очень высокой и критической степеней антропогенной нагрузки.

Ниже приведены диаграммы размахов, отображающие разницу по количеству аномалий между 6 выборками.

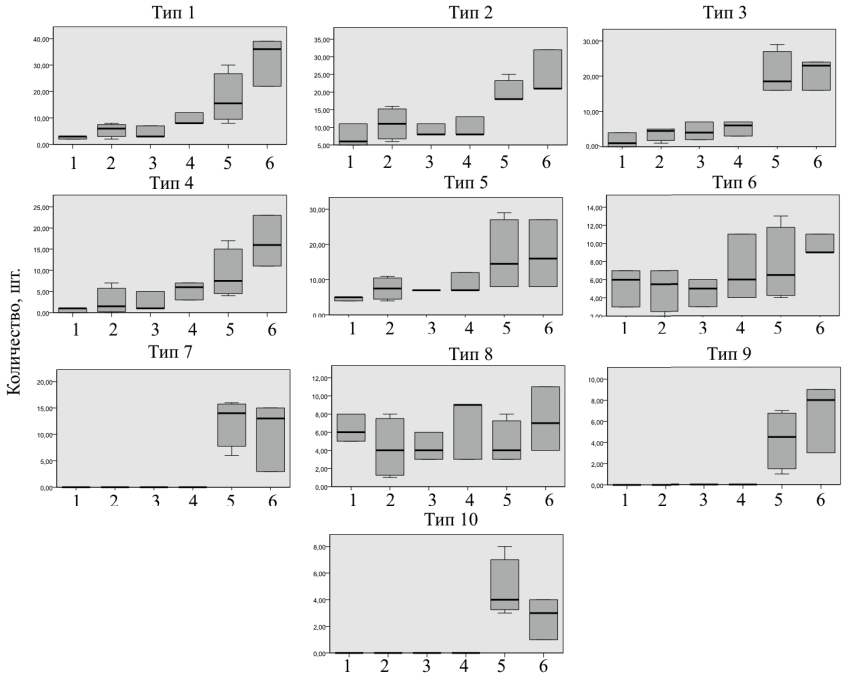


Рис. 1. Диаграмма размахов для 10 выявленных типов аномалий в зависимости от степени антропогенной нагрузки (1 – норма, 2 – слабая, 3 – умеренная, 4 – высокая, 5 – очень высокая, 6 – критическая)

Приведенные на диаграммах данные позволяют визуализировать количество аномальных п.з. на каждом из ПО и наглядно подтверждают влияние степени антропогенной нагрузки на число аномалий.

По результатам сравнения количества аномалий пыльцевых зерен в зависимости от степени антропогенной нагрузки с использованием Н-критерия Краскела-Уоллиса установлена достоверность различий для следующих типов аномалий:

– тип 1 – п.з. с одним неокрашенный воздушный мешок (Н-критерий =16,05; p=0,007),
– тип 2 – п.з. с двумя неокрашенными воздушными мешка (Н-критерий =18,27; p=0,013),
– тип 3 – п.з. без воздушных мешков (Н-критерий = 14,79; p=0,011)
– тип 4 – п.з. с деформированными воздушными мешками (Н-критерий =13,47; p=0,019),
– тип 5 – п.з. с подогнутыми воздушными мешками (Н-критерий =11,55; p=0,041),
– тип 7 – п.з. с 4-мя воздушными мешками (Н-критерий =18,03; p=0,003),
– тип 9 – малых п.з. (Н-критерий =18,20; p=0,003)
– тип 10 –тетрад (Н-критерий =18,27; p=0,003).

Для недоразвитых п.з. (тип 8) и п.з. с 3-мя воздушными мешками (тип 6) достоверные различия между выборками отсутствовали (Н-критерий =6,46; p=0,264 и Н-критерий =4,11; p=0,533).

На следующем этапе работы исследованные ПО были проанализированы с помощью метода кластерного анализа для того, чтобы выделить среди них однородные группы (кластеры) и оценить их количество. В качестве меры сходства было выбрано евклидово расстояние; дендрограммы составлялись по методу Уорда. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

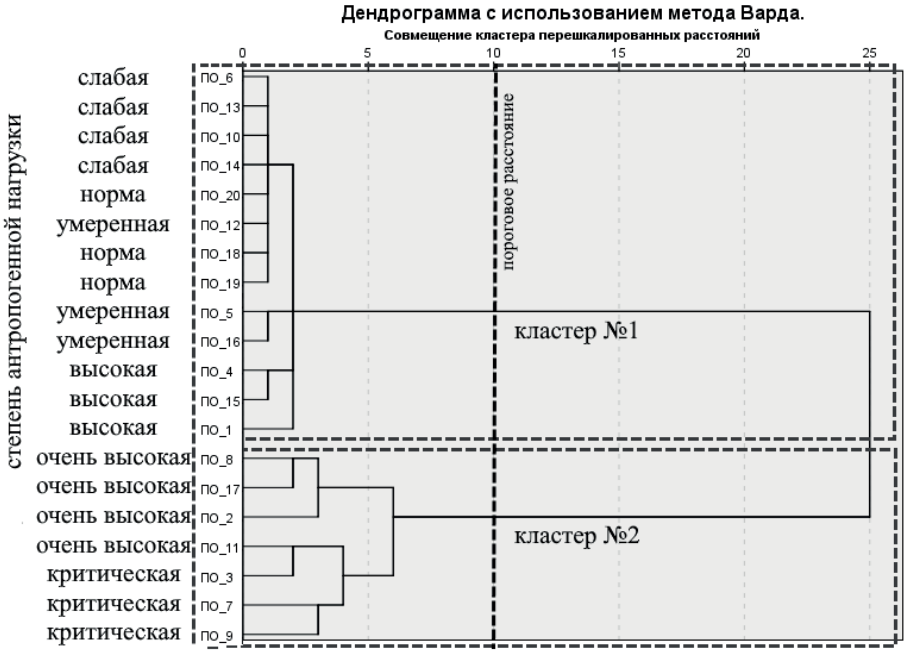


Рис. 2. Горизонтальная дендрограмма распределения исследованных ПО по кластерам

Как видно на дендрограмме, сформированной 20 терминальными группами (число исследованных ПО), по количеству пересечений линии, проходящей на уровне порогового расстояния (рассчитано и составляет 10), выделяется 2 кластера. В кластер №1 попали ПО из зоны условного контроля и те, для которых характерна степень антропогенной нагрузки от слабой до высокой. Кластер №2, в свою очередь, включает ПО со степенями антропогенной нагрузки от очень высокой до критической.

Для оценки зависимости количества аномалий от уровня антропогенной нагрузки был проведен регрессионный анализ (рисунок 3).

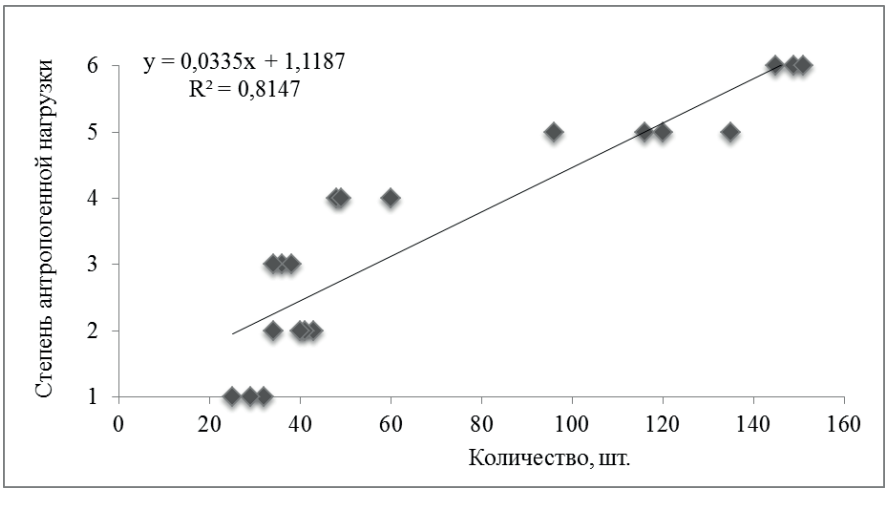


Рис. 3. Зависимость числа аномалий пыльцы от уровня антропогенной нагрузки

Параметры уравнения линейной регрессии, аппроксимируемые линейным уравнением вида y = a + bx, описывающие закономерность между исследуемым параметром, выглядят следующим образом: Y = 1,12 + 0,0335X. На рисунке 3 видно, что существует прямая, сильная корреляционная связь (r = 0,902; p < 0,001), т.е. количество аномалий п.з. зависит от степени антропогенной нагрузки.

На основании полученных результатов можно сделать выводы о том, что генеративная сфера сосны обыкновенной, формирующая будущее потомство, подвержена воздействию антропогенной нагрузки, а потому ее пыльца может быть использована как индикатор состояния окружающей среды. Поскольку P. sylvestris L. достаточно широко представлена в насаждениях на территории г. Минска, это позволяет создать схему загрязнения изучаемой территории [5].

Рост степени антропогенной нагрузки способствуют росту общего количества аномальных п.з. (различия достоверны: H-критерий = 18; p = 0,003), что выражается в возрастании уровня ее изменчивости по размерам и форме.

Экспериментально установлено, что наиболее информативными типами аномалий при установлении (подтверждении) очень высокой и критической степени антропогенной нагрузки на окружающую среду являются п.з. мелких размеров, п.з. с 4-мя воздушными мешками, а также тетрады.

Кластерный анализ позволил дифференцировать исследованные ПО по степени антропогенной нагрузки следующим образом: кластер № 1 – от нормы до высокой, кластер № 2 – от очень высокой до критической.

В дальнейшем предполагается провести дополнительные исследования с учетом представительства 10-15 деревьев на одном ПО.

Библиографические ссылки

1. *Vasilevskaya N., Osechinskaya P.* Teratomorphism of Pinus sylvestris L. pollen as the bioindicator of atmospheric air pollution of the Subarctic industrial city /BIO Web of Conferences. EDP Sciences. 2024. Vol. 145. P. 02014.

2. Research of the Pinus sylvestris pollen as a method of assessing the degree of air pollution/ G. I. Nenasheva [et al.] //Ukrainian Journal of Ecology. 2017. Vol. 7, iss. 4. P. 174–178.

3. *Дзюба О. Ф.* Палиноиндикация состояния окружающей среды и индикация глобальных экологических процессов в историческом прошлом Земли //Палинология в России. М. 1995. С. 104–112.

4. *Xolmatova M.* Morphology of pine pollen //Экономика и социум. 2023. № 10(113)-1. С. 346–347.

5. *Хох А. Н., Звягинцев В. Б.* Комплексный анализ хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в г. Минске // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 1. С. 133–141.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В РЕГИОНАЛЬНЫХ STD-ХРОНОЛОГИЯХ ПО ШИРИНЕ ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ У СОСНЯКОВ МШИСТЫХ В БЕЛАРУСИ

А. Н. Хох

Государственное учреждение «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь», ул. Филимонова 25, 220114, г. Минск, Беларусь, 1ann1hoh@gmail.com

Проведен анализ связи прироста поздней древесины с ведущими климатическими факторами – температурой и осадками в сосняках мшистых (Pinetum pleurozium), произрастающих на территории Беларуси, за 115-летний период (1900-2015 гг.). Показано, что стандартизированные (std) древесно-кольцевые хронологии имеют меньшее число значимых корреляций с климатическими факторами отдельных месяцев, чем остаточные (res). Установлено, что выявленные взаимосвязи между температурой, осадками и приростом поздней древесины находятся на уровне ($p \leq 0,05 > 0,01$) или средней ($p \leq 0,01 > 0,001$) статистической значимости.

Ключевые слова: сосняки мшистые; стандартизированные древесно-кольцевые хронологии; поздняя древесина; температура; осадки; Беларусь.

CLIMATIC SIGNAL IN REGIONAL STD-CHRONOLOGIES OF LATEWOOD WIDTH FOR MOSSY PINE FOSTDTS IN BELARUS

A. N. Khokh

Scientific and Practical Centre of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus, Philimonova str., 25, 220114, Minsk, Belarus, 1ann1hoh@gmail.com

The connection of latewood growth with the leading climatic factors – temperature and precipitation in mossy pine forests (Pinetum pleurozium) growing in Belarus over a 115-year period (1900-2015) was analyzed. It is shown that the standard tree-ring chronologies (std) have fewer significant correlations with the climatic factors of individual months than the residual ones (res). It was found that the revealed relationships between temperature, precipitation and growth of latewood are at the level of low ($p \leq 0,05 > 0,01$) or medium ($p \leq 0,01 > 0,001$) statistical significance.

Keywords: mossy pine forests; standard tree-ring chronologies; late wood; temperature; precipitation; Belarus.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-266-270

Дендроклиматические исследования позволяют получить ответ на множество вопросов, связанных с динамикой леса, реконструкцией и прогнозированием будущих природно-климатических изменений, что становится особенно важным в период глобальных трансформаций среды и предопределяет необходимость проведения дальнейших исследований в данной области.

Цель работы – изучить влияние температуры и осадков на особенности формирования поздней древесины у сосняков мшистых (Pinetum pleurozium), произрастающих на территории Беларуси.

Всего для дендроклиматических исследований заложено 106 временных пробных площадей, построено 11 региональных древесно-кольцевых хронологий (далее – ДКХ) по ширине поздней древесины, которые сгруппированы в 3 района (район №1: std 1.1-1.4; район №2: std

2.1-2.2; район №3: std 3.1-3.5). Ранее анализировались остаточные (res) хронологии за период с 1900 по 2015 годы [1], в данном исследовании – стандартизированные (std).

Основные статистические характеристики региональных std-хронологий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические показатели региональных и std-хронологий по ширинам поздней древесины

№№ДКХ	±SD	SNS	As	Автокорреляция		r	% дисперсии			$\sum_{PC}$
				lag 1	lag 2		PC 1	PC 2	PC 3	1-PC 3
std 1.1	0,11	0,12	0,29	0,31	0,23	0,62	65	6	6	77
std 1.2	0,11	0,10	-0,23	0,42	0,13	0,60	64	17	12	93
std 1.3	0,08	0,10	0,15	0,33	0,10	0,62	30	16	9	55
std 1.4	0,09	0,10	0,28	0,40	0,12	0,63	64	6	6	76
std 2.1	0,09	0,12	0,35	0,28	0,21	0,65	74	11	9	94
std 2.2	0,09	0,12	0,33	0,44	0,28	0,60	72	7	4	83
std 3.1	0,10	0,10	-0,05	0,29	0,01	0,69	82	6	3	91
std 3.2	0,10	0,11	0,05	0,48	0,28	0,64	64	17	12	93
std 3.3	0,11	0,1	0,01	0,46	0,21	0,68	80	6	3	89
std 3.4	0,12	0,11	-0,37	0,31	0,17	0,67	88	5	4	97
std 3.5	0,11	0,10	-0,13	0,35	0,15	0,69	79	14	4	97

Примечание. SD – стандартное отклонение, SNS – коэффициент чувствительности, As – коэффициент асимметрии, lag 1и lag 2 – автокорреляция первого и второго порядка, r – коэффициент корреляций локальных древесно-кольцевых хронологий, PC – главная компонента.

Взаимная корреляция локальных std-хронологий в выделенных подрайонах оказалась выше (0,60-0,69), чем в res-хронологиях (0,53-0,66). Как для res-, так и для std-хронологий наблюдаются значения стандартного отклонения в диапазоне 0,10-0,12. Средний коэффициент чувствительности std-хронологий составляет 0,11 (в res – 0,13); при этом и для std-, и для res-хронологий более высокая чувствительность отмечается в северных районах Беларуси по сравнению с южными (в среднем в 1,2 раза). Коэффициент асимметрии изменяется в широких пределах (от -0,37 до 0,35 – std; от 0,16 до 0,81 – res). Std-хронологии характеризуются достаточно высокой автокорреляцией I порядка (0,37), что указывает на влияние прироста предшествующего года на текущий, в то время как в res-хронологиях автокорреляция практически полностью подавлена (0,001). Главные компоненты, выделенные путем расчета значений собственных векторов в общей изменчивости прироста по ширине ПД, демонстрируют, что основная дисперсия как в std-, так и в res-хронологиях приходится на первые три компоненты и в среднем составляет 86 % (std) и 74 % (res).

Сравнительный анализ минимумов и максимумов прироста (таблица 2), т.е. тех лет, на которые для 80 и более % деревьев из ДКХ приходится снижение или увеличение прироста текущего года более чем на 20 % в сравнении с годом предыдущим, показал, что максимальное число (18) наблюдается для std-хронологии 3.4, минимальное (3) для std-хронологий 1 1.3 и 2.2. При этом для std-хронологий суммарное количество минимумов и максимумов в 2,7 раза меньше, чем для res-хронологий (97 и 264 соответственно).

Таблица 2

Минимумы и максимумы прироста для 11-ти региональных std-хронологий по ширине поздней древесины

std 1.1	std 1.2	std 1.3	std 1.4	std 2.1	std 2.2
1904 (25)	1916 (32)	**1915 (-21)**	1916 (30)	1930 (20)	1916 (24)
1915 (-22)	**1940 (-23)**	1916 (34)	1961 (21)	1937 (27)	1972 (21)
1916 (44)	1958 (22)	**1940 (-21)**	1982 (22)	**1938 (-23)**	**1986 (-20)**
1934 (20)	**1967 (-34)**		1985 (24)	**1959 (-24)**	
1944 (24)	1968 (48)		**1986 (-24)**	1980 (20)	
1958 (25)	1972 (23)		1988 (23)	1982 (27)	
1959 (-21)	1988 (24)			2006 (25)	
1962 (20)					
1972 (24)					
1981 (-33)					
1985 (21)					
1993 (-22)					
2007 (-23)					
std 3.1	std 3.2	std 3.3	std 3.4	std 3.5	
1902 (29)	1916 (23)	1902 (27)	**1920 (-23)**	1902 (21)	
1916 (34)	1921 (20)	**1915 (-26)**	1935 (31)	1910 (43)	
1923 (20)	**1924 (-21)**	1916 (33)	**1940 (-21)**	1916 (21)	
1940 (-24)	**1940 (-27)**	**1927 (-20)**	1941 (40)	1944 (22)	
1980 (28)	1944 (23)	1990 (22)	1943 (21)	1953 (23)	
1986 (-20)	**1981 (-21)**	2007 (22)	1953 (26)	**1959 (-26)**	
1990 (29)	**2011 (-24)**	**2010 (-20)**	1961 (34)	1961 (26)	
2008 (24)		**2013 (-29)**	**1963 (-26)**	1966 (23)	
2014 (21)			1965 (32)	**1976 (-20)**	
			1970 (22)	1980 (25)	
			1974 (25)	**1981 (-21)**	
			1980 (29)	1982 (27)	
			1982 (30)	**1986 (-24)**	
			1983 (-26)	1988 (27)	
			1997 (32)	1999 (21)	
			1998 (-20)		
			2004 (35)		
			2005 (-20)		

Примечание. Минимумы прироста выделены жирным шрифтом.

Изучение влияния температуры и осадков на формирование поздней древесины осуществлялось с помощью процедуры корреляционного анализа и множественной линейной регрессии. Расчет коэффициентов корреляции Пирсона и коэффициентов функции отклика проводился между std-хронологиями и рядами метеопараметров за период с сентября предыдущего по сентябрь текущего года [2]. Брались данные архива погоды Национального управления океанических и атмосферных исследований по 45 метеостанциям Беларуси (https://www.ncei.noaa.gov/access/past-weather/Belarus).

На рисунке 1 представлены рассчитанные коэффициенты корреляции и коэффициенты функции отклика для региональных std-хронологий по ширинам поздней древесины с месячными суммами осадков и среднемесячными температурами; статистически значимые значения ($p<0,05$) показаны темным цветом на гистограммах и квадратными маркерами на линиях.

Коэффициенты корреляции (гистограммы) и коэффициенты функций отклика (линии), p-осадки, t – температура; c – текущий год, p – предыдущий год

Анализ коэффициентов корреляции показал следующие результаты. В дендрохронологически однородном по приросту поздней древесины районе №1, состоящем из 4 подрайонов, std-хронология 1.1 положительно коррелирует с температурами января (r = 0,29) и марта (r = 0,22) текущего года; std-хронология 1.2 положительно коррелирует с температурой ноября (r = 0,26) предшествующего и температурой января (r = 0,30) текущего года; std-хронология 1.3

положительно коррелирует с температурами января (r = 0,23), мая (r = 0,22) и августа (r = 0,21) текущего года; std-хронология 1.4 положительно коррелирует с температурой ноября (r = 0,25) предшествующего и температурами января (r = 0,22) и июля (r = 0,24) текущего года.

В районе №2, состоящем из 2 подрайонов, std-хронология 2.1 отрицательно коррелирует с температурами апреля (r = 0,21) и мая (r = 0,23), а также с осадками июля (r = 0,22) текущего года, а std-хронология 2.2 с температурой января текущего года (r = 0,27).

В районе №3, состоящем из 5 подрайонов, std-хронология 3.1 отрицательно коррелирует с осадками июня (r = -0,25) текущего года; для std-хронологии 3.2 статистически значимых корреляций не выявлено; std-хронология 3.3 положительно коррелирует с температурой ноября (r = 0,21) и осадками сентября (r = 0,24) предшествующего года, отрицательно коррелируют с осадками июня (r = -0,27) и июля (r = -0,30) текущего года; std-хронология 3.4 отрицательно коррелирует с осадками октября (r = -0,25) предшествующего года, с температурой апреля (r = -0,27) и мая (r = -0,35), осадками марта (r = -0,21), июня (r = -0,32) и июля (r = -0,27) текущего года; хронология 3.5 положительно коррелирует с температурой января (r = -0,22) и отрицательно коррелирует с температурой апреля (r = -0,22) текущего года.

Анализ функции отклика, которая, в отличие от корреляционных связей, учитывает взаимную корреляцию климатических параметров, что уменьшает вероятность обнаружения случайных корреляционных связей с приростом деревьев, ни в одном случае не показал тех же результатов, что и корреляционный анализ (для res-хронологий совпадения наблюдались в 4-х случаях из 11-ти).

Для района №1 значимая функция отклика была выявлена для осадков августа (p=0,48) текущего года у std-хронологии 1.2. У std-хронологий 1.1, 1.3 и 1.4 значимых функций отклика с температурами и осадками выявлено не было.

Для района №2 значимые функции отклика были выявлены для осадков сентября (p=0,40 – std 2.1; p=0,22 – std 2.2) предшествующего года, для температуры июня (p=0,29 – std 2.1) текущего года.

В районе №3 для std-хронологии 3.2 значимые функции отклика были выявлены для температур февраля (p=0,25) предшествующего года и июля (p=0,12) текущего года; для std-хронологии 3.4 значимые функции отклика были выявлены для температуры сентября (p=0,35) текущего года. Для std-хронологий 3.1., 3.3 и 3.5 значимых функций отклика с температурами и осадками выявлено не было.

Следует отметить, что выявленные взаимосвязи между температурой, осадками и приростом поздней древесины, как для std-,так и для res-хронологий, находятся на уровне низкой ($p \leq 0,05 > 0,01$), реже на уровне средней ($p \leq 0,01 > 0,001$) статистической значимости. Данный факт, по всей видимости, обусловлен отсутствием на территории Беларуси ярко выраженных внешних факторов, лимитирующих прирост.

В целом по результатам проведенного исследования показано, что стандартизированные древесно-кольцевые хронологии имеют меньшее число значимых корреляций с климатическими факторами отдельных месяцев, чем остаточные (21 и 27) соответственно.

Библиографические ссылки

1. *Хох А. Н., Звягинцев В. Б.* Геоэкологические детерминанты прироста поздней древесины сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) в условиях Беларуси // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2024. №06/2. С. 30–39.

2. *Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H.* Summer temperature patterns over Europe: a reconstruction from 1750 AD based on maximum latewood density indices of conifers // Quaternary Research. 1988. Vol. 30, iss. 1. P. 36–52.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ЗВУКА РУЧНЫМ СПОСОБОМ И С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «ЭКОЛОГ-ШУМ» НА ТЕРРИТОРИИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ТРАНСПОРТНОЙ МАГИСТРАЛИ

Л. М. Хурнова[1)], **В. В. Елисеев**[1)]

[1)] *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ул. Германа Титова, 28 440028, г. Пенза, Россия, ie@pguas.ru*

Проведен сравнительный анализ требований нормативных документов к расчету шумовых характеристик транспортной магистрали, что позволило провести ручной расчет максимального уровня звука на площадке для отдыха объекта реконструкции и расчет с помощью программы «Эколог-Шум».

Без учета фонового шума, результаты расчетов не превышают ПДУ, установленный для территории учебных заведений. Показано, что ручной способ может быть использован при небольших акустических расчетах, при этом расчет с помощью программы «Эколог-Шум» позволяет получить карту затухания звука, охватывающую всю площадку для отдыха, что более информативно для принятия решения о разработке мер по защите от шума на этапе проектирования.

Ключевые слова: объект реконструкции; акустический расчет; шумовая характеристика; транспортная магистраль; максимальный уровень звука; затухание звука.

CALCULATION OF MAXIMUM SOUND LEVEL MANUALLY AND USING ECOLOGIST-NOISE PROGRAM IN ADJACENT TERRITORY TO TRANSPORT HIGHWAY

L. M. Khurnova[1)], **V. V. Eliseev**[1)]

[1)] *Penza State University of Architecture and Construction, Herman Titov St., 28 440028, Penza, Russia, ie@pguas.ru*

A comparative analysis of the requirements of regulatory documents for the calculation of noise characteristics of a transport highway was carried out, which made it possible to manually calculate the maximum sound level at the recreation area of the reconstruction facility: the medical college at Penza, Stroiteley Avenue, 2. The maximum sound level at the recreation area was calculated using the Ecologist-Noise program. Without taking into account background noise, the calculation results do not exceed the maximum control limit set for the territory of educational institutions. It is shown that the manual method can be used for small acoustic calculations, while the calculation using the Ecologist-Noise program allows to obtain a sound attenuation map covering the entire recreation area, which is more informative for deciding on the development of noise protection measures at the design stage.

Keywords: reconstruction object; acoustic calculation; noise characteristic; transport highway; maximum sound level; sound attenuation

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-271-275

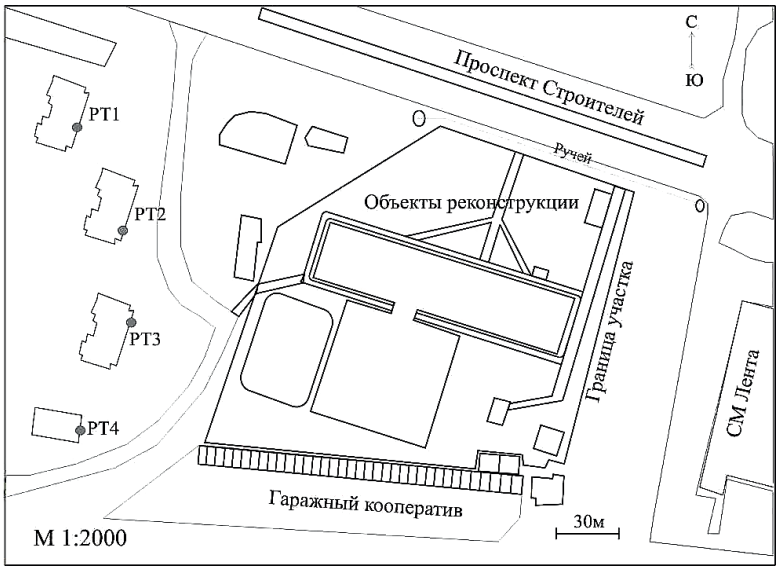
В настоящее время большинство людей в больших городах живут в условиях постоянного шума. Он пагубно влияет, как на физическое, так и на психологическое здоровье человека.

Для предупреждения негативного воздействия шума на человека обязательным является проведение акустических расчетов на объектах капитального строительства и реконструкции при разработке раздела проектной документации «Мероприятия по охране окружающей среды».

Целью данной работы являлся сравнительный анализ различных подходов к расчету шумовых характеристик транспортной магистрали и расчет максимального уровня звука на пло-

щадке для отдыха объекта реконструкции (здания медицинского колледжа), расположенного по адресу ул. Пенза, проспект Строителей д.2 (рисунок), выполненных ручным способом и с помощью программы «Эколог-Шум» (версия 2.6).

Актуальность данной работы обусловлена обобщением требований к расчету основных шумовых характеристик транспортной магистрали, регламентированных нормативной документацией, а также возможностью замены небольших акустических расчетов ручным способом, не прибегая к использованию специального лицензионного программного обеспечения.



Объект реконструкции по адресу г. Пенза, проспект Строителей, д.2

На пути распространения звуковых волн могут быть различные архитектурные и природные факторы, такие как здания, заборы, экраны, препятствующие прохождению шума, снижающие его за счет звукопоглощения и звукоотражения, а также зоны затухания шума, основной вклад в которые вносят территория (влияние земли и/или сплошной застройки), влияние листвы, влияние метеорологических условий.

Площадка для отдыха имеет треугольную форму, асфальтирована, ограничена природным грунтом, обустроена некоторыми малыми архитектурными формами, размещается в северо-восточной части объекта реконструкции непосредственно перед главным корпусом медицинского колледжа, ориентирована на городскую магистраль «Проспект Строителей», имеет координаты, указанные в табл. 2. Территория, прилегающая к площадке для отдыха, характеризуется наличием зеленой растительности (отдельно стоящие деревья и кустарники), отсутствием построек, экранирующих территорию площадки.

Был проведен анализ различных подходов к расчету акустических характеристик транспортной магистрали (табл.1).

Как следует из табл. 1, рассчитать шумовые характеристики транспортной магистрали можно, используя рекомендации СП 276.1325800.2016 или ОДМ 218.2.013-2011, определить уровень шума в расчетных точках/на расчетных площадках можно опираясь на требования ГОСТ 31295.2-2005 и ГОСТ 56234.3-2019.

Транспортная магистраль рассматривалась как источник непостоянного шума, в качестве основной шумовой характеристики принимали максимальный уровень звука Lмакс. Фоновый уровень шума в расчетах не учитывался.

Участок городской транспортной магистрали, примыкающий к объекту реконструкции (рисунок), относится к следующей категории дорог: магистральная улица общегородского значения регулируемого движения с 6-полосной дорогой.

В соответствии с табл. 6.1 свода правил СП 276.1325800.2016 максимальный уровень звука транспортной магистрали составляет Lмакс норм 77 дБ А.

Таблица 1

Анализ требований нормативных документов к расчету акустических характеристик транспортной магистрали

Нормативный документ	Назначение	Особые требования
ГОСТ 31295.2-2005	Прогнозирование уровня шума в октавных полосах от точечных источников шума или группы точечных источников (стационарных или подвижных). Расчет уровня шума от автомобильного транспорта	Расчет учитывает геометрическую дивергенцию, поглощение звука атмосферой, влияние земли, поглощение листвой, экранирование препятствиями.
ГОСТ 56234.3-2019	Метод расчета затухания шума при его распространении на местности от разных источников. Метод позволяет получить эквивалентные уровни звука для разных метеорологических условий.	Расчет учитывает ослабление звука при его экранировании с учетом дифракции. Применяется метод «резиновой ленты» при построении траектории движения звуковой волны по ИСО 9612-2.
СП 276.1325800.2016	Разработка мероприятий по защите от неблагоприятного воздействия транспортного шума при проектировании, строительстве, реконструкции и капитальном ремонте зданий и сооружений и благоустройстве прилегающих к ним территорий.	Расчет шумовых характеристик потоков автомобильного транспорта с учетом интенсивности и скорости движения транспорта. Оценка и прогнозирование распределения уровней транспортного шума на территориях и в помещениях жилых и общественных зданий, прилегающих к транспортным дорогам.
СП 51.13300.2011	Требования, которые должны выполняться при строительстве и застройке городских и сельских поселений с целью защиты от шума и обеспечения нормативных параметров акустической среды в производственных, жилых, общественных зданиях, на прилегающих к ним территориях и в рекреационных зонах.	Алгоритм последовательности проведения акустических расчетов и требования: к расчету октавных уровней шума в расчетных точках, к звукоизоляции зданий и конструктивных элементов, к звукопоглощению экранов, конструкций.
ОДМ 218.2.013-2011	Устанавливает рекомендации по проектированию шумозащиты территорий, прилегающих к автомобильным дорогам	Расчет шумовых характеристик транспортного потока с учетом интенсивности движения, доли наиболее шумных грузовых автомобилей, характера придорожной территории, дорожных условий, определяющих режим движения. Прогнозирование распространения транспортного шума.

Составлено по: [1-5].

Таблица 2

Координаты площадки для отдыха (выборка из отчета программы «Эколог-Шум»)

N	Объект	Координаты точки 1		Координаты точки 2		Ширина (м)	Высота подъема (м)	Шаг сетки (м)	
		X (м)	Y (м)	X (м)	Y (м)			X	Y
РП	Площадка для отдыха (расчетная площадка)	1.80	151.10	407.60	151.10	293.40	1.50	36.89	26.67

В соответствии с табл. 6.1 свода правил СП 276.1325800.2016 максимальный уровень звука транспортной магистрали составляет $L_{макс\ норм}$ 77 дБ А.

Был проведен расчет максимального уровня звука на территории площадки для отдыха, создаваемого транспортной магистралью, ручным способом и с помощью программы «Эколог-Шум» (вер. 2.6).

Максимальный уровень звука $L_{макс}$ на площадке для отдыха определяли в соответствии с [1] по формуле (3).

Затухание А при распространении звука рассчитывали в соответствии с [1] по формуле (4).

В расчете затухания учитывали фактор герметической дивергенции Adiv, расчет которого проводили в соответствии с [1] по формуле (7), приняв расстояние от источника шума до расчетной точки (от ближайшей границы дороги) r_n =120 м и расстояние замера r_0= 7,5 м.

В расчете учитывали фактор затухания шума Аатм в результате поглощения атмосферой, расчет которого проводили в соответствии с [1] по формуле (8), приняв коэффициент затухания звука в воздухе $\alpha_{возд}$=0,5 дБА/м.

Факторами затухания звука из-за влияния земли пренебрегали из-за отсутствия интерференции звуковых волн. Факторами затухание звука из-за влияния прочих факторов (влияние листвы, промышленной зоны, жилого массива), пренебрегали из-за отсутствия факторов.

Максимальный уровень звука на площадке для отдыха, полученный расчетным путем, составил $L_{макс}$ = 64,4 дБА.

Для расчета максимального уровня звука на площадке для отдыха в заданных координатах выполнялось построение зоны затухания звука в программе «Эколог-Шум», результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения максимального уровня звука в границах координат площадки для отдыха (выборка из отчета программы «Эколог-Шум»)

Координаты точки		Высота (м)	La макс, дБ А
X (м)	Y (м)		
1.80	137.76	1.50	63.40
1.80	164.44	1.50	63.80
1.80	191.11	1.50	64.20
1.80	217.78	1.50	64.40
407.60	57.75	1.50	65.10
407.60	84.42	1.50	66.10
407.60	111.09	1.50	67.20
407.60	137.76	1.50	68.40
407.60	164.44	1.50	69.70

Как следует из результатов ручного расчета и результатов расчета с помощью программы (табл. 3), максимальный уровень звука на площадке для отдыха, создаваемый транспортной магистралью, в дневное время не превышает предельно допустимого уровня ПДУ=70 дБА, установленного СанПиН 1.2.3685-21.

Результаты сравнительного анализа ручного расчёта шума и расчета с помощью программы позволяют сделать следующие выводы:

– ручной расчет определяет максимальный уровень звука в расчетной точке, которая может быть выбрана произвольно на площадке для отдыха (поскольку не заданы координаты площадки), поэтому максимальный уровень звука может рассматриваться как усредненное значение;

– расчет с помощью программы «Эколог-Шум» дает массив данных, показывая, как меняется максимальный уровень звука по всей площадке отдыха, при этом можно отметить значения, граничащие с ПДУ, что определяет необходимость выбора мер по защите от шума транспортной магистрали на этапе разработки проектной документации;

– ручной метод можно рекомендовать для выполнения небольших акустических расчетов.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 31295.2-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности.−М.: Стандартинформ. 2006. 23 с.

2. ГОСТ 56234.3-2019 Акустика. Программное обеспечение для расчетов уровней шума на местности. Часть 3. Рекомендации по обеспечению качества расчетов по ИСО 9613-2- М.:Стандартинформ. 2019. 54 с.

3. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. М.: Министерство строительства и ЖКХ Российской Федерации.- 2016. 155 с.

4. СП 51.13330.2011 Свод правил. Защита от шума. М.:Стандартинформ. 2017. 50 с.

5. ОДМ 218.2.013-2011 Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. М.:Росавтодор. 2011. 127 с.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЭРОДИРОВАННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА БЕЛАРУСИ

Н. Н. Цыбулько[1)], И. И. Жукова[2)], Е. В. Алексейчик[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nik.nik1966@tut.by*
[2)] *Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, ул. Советская, 18, 220030, г. Минск, Беларусь, inn0707@bspu.by*

Проведен анализ территориального распространения эродированных почв на сельскохозяйственных землях и выполнена группировка территорий по степени эродированности почвенного покрова на основе долевого участия почв разной эродированности в составе сельскохозяйственного землепользования. При очень слабой и слабой степени эродированности почвенного покрова доля эродированных почв не превышает 5 %, при средней степени составляет 5-10 %. Земли с сильной и очень сильной степенью эродированности разделены на две подгруппы. Дополнительным критерием разделения является долевое участие средне- и сильноэродированных почв в составе всех почв, подверженных эрозии – ≤50,0 и >50,0 %.

Ключевые слова: эродированные почвы; сельскохозяйственные земли; оценка; группировка.

ASSESSMENT OF DEGREE OF ERODIBILITY OF SOILS IN BELARUS

N. N. Tsybulka[1)], I. I. Zhukova[2)], A. V. Aliakseichyk[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute» of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nik.nik1966@tut.by*
[2)] *Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tanka, Sovetskaya str., 18, 220030, Minsk, Belarus, inn0707@bspu.by*

The analysis of the territorial distribution of eroded soils on agricultural lands was carried out, and the territories were grouped according to the degree of soil cover erosion based on the share of soils with different degrees of erosion in agricultural land use. With very weak and weak degrees of soil erosion, the proportion of eroded soils does not exceed 5 %, with an average degree of 5-10 %. Lands with strong and very strong degrees of erosion are divided into two subgroups. An additional criterion for division is the proportion of medium- and highly eroded soils among all soils subject to erosion – <50.0 and >50.0 %.

Keywords: eroded soils; agricultural lands; assessment; grouping.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-276-280

Введение. В условиях интенсивной антропогенной нагрузки на почвенный покров исключительную значимость и актуальность приобретают исследования, направленные на изучение процессов деградации почв аграрных ландшафтов. На территории Беларуси выявлено около 20 видов деградации земель (включая почвы), из них 9 видов деградации определено в качестве основных с проведением постоянного экологического мониторинга. Общая площадь земель, подверженных основным видам деградации, составляет 1690,1 тыс. га, в том числе подверженных водной и ветровой эрозии – 556,5 тыс. га [1].

Одним из методов территориального обобщения информации, характеризующей качество земель, учета агроэкологических факторов деградации почв и распространения деградированных земель (включая почвы) является картографирование почвенного покрова и комплексное

районирование. Раскрывая различный характер процессов деградации почв и земель, районирование даёт возможность последовательно классифицировать территории как по формам проявления деградации почв, так и по характеру защиты земель, позволяет разработать научно-обоснованный комплекс почвозащитных мероприятий.

Изучение эродированности почв сельскохозяйственных земель Беларуси связано с началом крупномасштабного картографирования почвенного покрова. Картографирование эродированных почв позволило с высокой достоверностью установить их фактические площади, обобщить по районам, областям и в целом по республике [2].

В Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси разработана методика составления почвенно-эрозионной карты, основные положения которой заключались в следующем [3]:

– исходными данными для карты являлись фактические площади эродированных и дефлированных почв в разрезе хозяйств, полученные в результате крупномасштабных почвенных обследований;

– проявление эрозии на карте отражали на типовом и видовом уровнях. На типовом уровне выделяли водную и ветровую эрозию. Интенсивность проявления эрозии показывали на видовом уровне с выделением четырех степеней: слабая (доля эродированных почв в составе сельскохозяйственных земель – 1,0–5,0 %), средняя (5,1–10,0 %), сильная (10,1–20,0 %), очень сильная (более 20 %). Территории, в почвенном покрове которых общая площадь эродированных и дефлированных почв менее 1,0 %, относили к практически неэродированным и недефлированным;

– степень проявления водной эрозии и дефляции определяли по процентному участию эродированных и дефлированных почв в общей площади сельскохозяйственных земель.

В 2015 г. издана почвенно-эрозионная карта Беларуси в масштабе 1: 500 000 с отдельными уточнениями и изменениями контуров эродированных земель и степеней эродированности, установленными в результате корректировки материалов второго тура почвенного обследования и осушенных земель [4].

Цель работы – провести анализ и оценку территориального распространения эродированных (смытых) почв на сельскохозяйственных землях, выполнить группировку (выделение комбинаций) территорий на уровне административных единиц по степени эродированности почвенного покрова на основе долевого участия почв разной эродированности в составе сельскохозяйственного землепользования.

Объекты исследования. Объектом исследования являлись почвы пахотных и луговых земель сельскохозяйственных организаций республики, подверженные водной и ветровой эрозии. Информационно-аналитическими материалами являлись результаты крупномасштабных почвенных обследований [5].

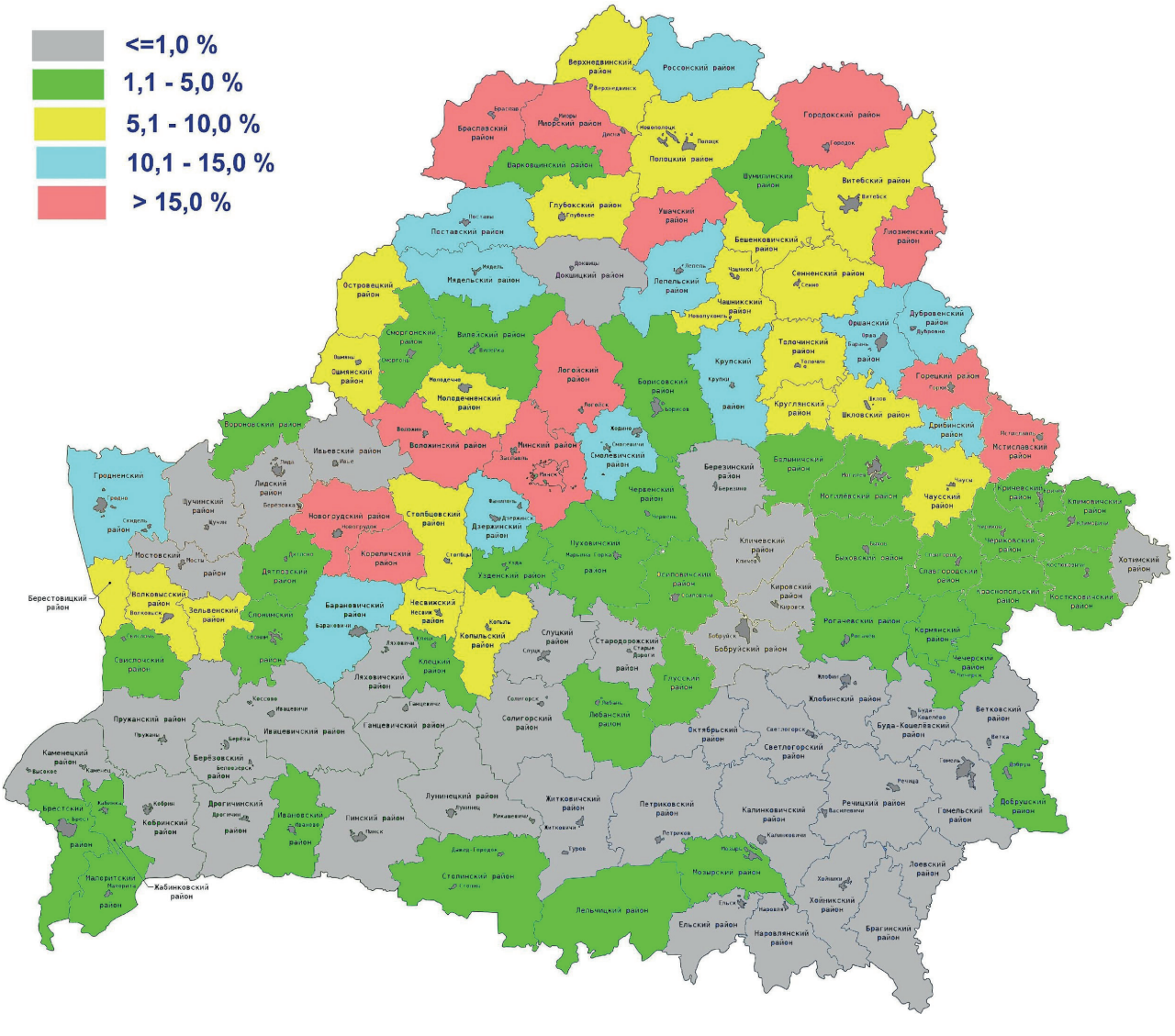
Результаты и обсуждение. Степень эродированности почвенного покрова определяется площадями и соотношением слабо-, средне- и сильноэродированных почв по почвенно-геоморфологическому профилю, в составе сельскохозяйственных земель конкретного землепользования, административного района. Поэтому при формировании показателя интенсивности проявления эрозии принципиальное значение имеет обоснование выбора весовых коэффициентов для пересчета средне- и сильноэродированных почв в так называемые условные (или пересчетные) слабоэродированные почвы.

При составлении почвенно-эрозионной карты Беларуси для определения степени эродированности почвенного покрова пересчет средне- и сильноэродированных почв в так называемые условные (пересчетные) слабоэродированные почвы проводили с использованием коэффициентов, установленных на основании снижения урожайности сельскохозяйственных культур на средне- и сильноэродированных почвах по сравнению со слабоэродированными почвами. Для этого фактические площади среднеэродированных почв умножали на коэффициент 1,29, а сильноэродированных почв – на 1,73. Полученные площади суммировали со слабоэродированными почвами и определяли общую площадь эродированных почв [6].

Российскими почвоведами предложено подбирать весовые коэффициенты для почв различных категорий эродированности на основе снижения запасов гумуса (в т/га) и процентного содержания гумуса в пахотных горизонтах эродированных почв с учетом их гранулометрического состава. Установлено, что интенсивность почвенной эрозии в направлении от слабо-, к средне- и сильноэродированным категориям почв изменяется в соотношении 1:3:5 [7].

Обобщение данных по содержанию и запасам органического вещества (гумуса) в пахотных горизонтах (Ап) дерново-подзолистых почв на лессовидных и моренных суглинках показало, что снижение запасов гумуса (в т/га) в средне- и сильноэродированных почвах по отношению к слабоэродированным почвам составляет соответственно 15-20 и 40-47 % [8; 9]. На основе этих данных определены пересчетные коэффициенты для перевода средне- и сильноэродированных почв в условные слабоэродированные почвы, которые составили соответственно в среднем 1,3 и 1,9.

На основе полученных пересчетных коэффициентов площади и удельный вес эродированных почв в составе сельскохозяйственного землепользования в разрезе административных районов Беларуси (рисунок).



Картограмма степени эродированности почвенного покрова
по административным районам Беларуси

Эродированность почвенного покрова по территориям административных районов подвержена значительным колебаниям. Минимальные площади (до 1 %) почв, подверженных водной эрозии, в составе аграрного землепользования отмечаются в 39 районах Беларуси, которые сосредоточены в основном в Брестской и Гомельской областях. Территории сельскохозяйственных земель со слабой эродированностью (1,1–5,0 %) имеются в 36 районах республики. Они занимают пологие склоны слабоволнистого рельефа, с почвами различного генезиса, гранулометрического состава и подстилания. Сюда относятся более выровненные и пониженные территории некоторых возвышенностей и гряд, примыкающие к равнинным пространствам (западная часть Новогрудской возвышенности, южная часть Копыльской гряды, южная часть Минской возвышенности, Мозырская возвышенность), а также территории некоторых донно-моренных и водно-ледниковых равнин и низин: Лидская, Нарочанско-Вилейская, Высоковская (Прибугская), Пружанская, Славгородская, Костюковичская и Чечерская равнины, Полоцкая низина и другие территории со слабохолмистым рельефом.

Среднеэродированные территории (эродировано 5,1–10,0 % пахотных и луговых земель) приурочены к Гродненской (западная часть), Волковысской, Слонимской, Ошмянской, Новогрудской (северная часть), Минской (северная часть), Витебской и Россонской возвышенностей, Копыльской и Коссовской гряды, Столбцовской и Могилевской равнины с более сглаженным и менее расчлененным рельефом и дерново-подзолистыми почвами, развивающимися на лессовидных, водно-ледниковых, моренных суглинках и супесях, подстилаемых моренными суглинками, иногда песками. Площади почв со средней степенью эродированности сконцентрированы в 20 административных районах.

Территории с сильной степенью эродированности почвенного покрова (эродировано 10,1–15,0 % земель) характерны для районов и отдельных частей Минской, Новогрудской, восточной части Гродненской, Оршанской, Браславской, Городокской, Ушачской возвышенностей, Свенцянской гряды – с сильно расчлененным рельефом на мощных лессовидных и моренных суглинках и связных супесях.

Очень сильноэродированные территории, где эродированные почвы занимают более 15 % сельскохозяйственного землепользования, приурочены к наиболее повышенным частям рельефа с дерново-палево-подзолистыми суглинистыми почвами, развивающимися преимущественно на мощных лессах (Лиозненский, Городокский, Горецкий, Мстиславский, Новогрудский, Логойский, Воложинский, Миорский, Браславский, Минский, Кореличский районы).

Выполнена группировка (выделение комбинаций) территорий на уровне административных единиц по степени эродированности почвенного покрова на основе долевого участия почв разной эродированности в составе сельскохозяйственного землепользования (таблица).

Группировка землепользований по степени эродированности почвенного покрова

Группа	Количество районов	Степень эродированности почвенного покрова	Долевое участие почв, в %		
			неэродированные	эродированные	средне- и сильноэродированные
I	38	Очень слабая	≥99	≤ 1	–
II	36	Слабая	95 – <99	>1 – 5	–
III	20	Средняя	90 – <95	>5 – 10	–
IVа	11	Сильная	85 – <90	>10 – 15	≤ 50,0
IVб	1				> 50,0
Va	7	Очень сильная	<85	>15	≤ 50,0
Vб	5				> 50,0

В первой и второй группах с очень слабой и слабой степенью эродированности почвенного покрова долевое участие эродированных почв в составе сельскохозяйственного землепользования не превышает 5 %, в третьей группе (средняя степень эродированности почвенного покрова) – составляет 5-10 %. Четвертая и пятая группы землепользований с сильной и очень сильной степенью эродированности почвенного покрова разделены на две подгруппы. Дополнительным критерием разделения является долевое участие средне- и сильноэродированных почв в составе всех почв, подверженных эрозии – ≤50,0 и >50,0 %.

Заключение. Оценка территориальных различий в агроэкологическом состоянии почвенного покрова агроландшафтов, характере и степени его эродированности позволяет провести региональную дифференциацию обоснования и применения почвоохранных мероприятий и технологий, обеспечивающих нулевой прирост эрозионной деградации земель.

Библиографические ссылки

1. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 632 с.

2. Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь (для целей крупномасштабного картографирования и кадастровой оценки сельскохозяйственных земель) / Ин-т почвоведения и агрохимии; Проектный ин-т Белгипрозем. Минск, 2013. 63 с.

3. Методические аспекты отражения эродированных почв Республики Беларусь на карте масштаба 1:600 000 / Н. И. Смеян [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. Минск, 1995. Вып. 23. С. 13–17.

4. *Черныш А. Ф., Шибут Л.И., Жукова И.И.* Республика Беларусь. Почвенно-эрозионная карта. М 1:500 000: учебное наглядное пособие для ВУЗов. Минск: Белкартография, 2015.

5. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. Минск: Оргстрой, 2001. 432 с.

6. Исторические аспекты картографирования эродированных почв и создания почвенно-эрозионной карты Беларуси / Л. И. Шибут [и др] // Почвоведение и агрохимия. 2020. №1 (64). С. 37-45.

7. Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине / Под ред. д.г.н. В. Н. Голосова, д.г.н. О. П. Ермолаева. Казань: Из-во АН РТ, 2019. 372 с.

8. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; под общей редакцией В. В. Лапа, А. Ф. Черныша. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. 170 с.

9. *Черныш А. Ф., Сергеенко В. Т., Кондаурова А. Г.* Новые подходы к количественной оценке эрозионной деградации почв. // Почвоведение и агрохимия. 2012. №1 (48). С. 7-17.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ВОДОЁМА ИЗОЛЯТОВ БАКТЕРИЙ К ИОНАМ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

М. О. Шванц[1)], **Т. А. Пучкова**[1)]

[1)] *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, puchkova@bsu.by*

Проведено изучение устойчивости изолятов бактерий, выделенных из проб воды Чижовского водохранилища, к ионам тяжёлых металлов. При росте на жидкой питательной среде для самых устойчивых изолятов ингибирующие концентрации металлов составили, ммоль/л: меди – 7; свинца – 3,5; кадмия – 1,5; кобальта – 3,5; цинка – 10. Выделен изолят бактерий, устойчивый к высоким концентрациям четырех металлов: меди, свинца, кобальта и цинка. Показано, что при росте бактерий на жидких питательных средах, ингибирование их роста ионами металлов происходит при концентрациях на 25–35 % меньших, чем на агаризованных питательных средах.

Ключевые слова: микроорганизмы водоёма; тяжёлые металлы; ингибирующие концентрации.

DETERMINATION OF THE RESISTANCE OF BACTERIAL ISOLATES OBTAINED FROM RESERVOIR TO HEAVY METAL IONS

M. O. Shvants[1)], **T. A. Puchkova**[1)]

[1)] *Belarusian State University, Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk, Belarus, puchkova@bsu.by*

A study was conducted on the resistance of bacterial isolates obtained from water samples of the Chizhovsky Reservoir to heavy metal ions. When grown on liquid nutrient media, the inhibitory concentrations of metals for the most resistant isolates were found to be, in mmol/L: copper – 7; lead – 3.5; cadmium – 1.5; cobalt – 3.5; zinc – 10. A bacterial isolate has been obtained that is resistant to high concentrations of four metals: copper, lead, cobalt, and zinc. It has been shown that when bacteria grow on liquid nutrient media, inhibition of their growth by metal ions occurs at concentrations 25–35 % lower, than on agarized nutrient media.

Keywords: microorganisms of the reservoir; heavy metals; inhibitory concentrations.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-281-284

Чижовское водохранилище находится в юго-восточной части города Минска. Оно создано на реке Свислочь в середине прошлого века как водоём, предназначенный для обеспечения технической водой ТЭЦ-3 и расположенных поблизости предприятий. В него в течение многих лет попадали недостаточно очищенные промышленные сточные и городские дождевые воды, что привело к значительному загрязнению донных отложений. Частичная очистка водохранилища от загрязнённого ила проводилась в 2010 году [1]. В пробах воды из водохранилища часто отмечается превышение допустимых концентраций тяжёлых металлов и нефтепродуктов. Опасность попадания в водоём тяжёлых металлов состоит в том, что они накапливаются в иле, аккумулируются в водных организмах и оказывают на них токсическое действие. Тяжёлые металлы оказывают значительное воздействие и на обитающие в водоёмах микроорганизмы, за счёт хорошей способности к комплексообразованию, создавая стрессовую среду, которая подавляет рост, снижает разнообразие, активность микроорганизмов и изменяет их биохимические свойства. Загрязнение водных экосистем тяжелыми металлами приводит к появлению бактерий, устойчивых к этим металлам, что, в свою очередь, способствует развитию их резистентности к противомикробным препаратам [2- 4].

Целью работы являлась оценка устойчивости к ионам тяжелых металлов изолятов бактерий, выделенных из проб воды Чижовского водохранилища.

Объектами исследований служили пробы воды из Чижовского водохранилища, из которых выделяли устойчивые к тяжёлым металлам бактерии.

Для культивирования бактерий использовали жидкую питательную среду – пептон-дрожжевой бульон (ПДБ) и плотную среду – пептон-дрожжевой агар (ПДА). В состав ПДБ входили следующие компоненты, в г/л: пептон – 10, дрожжевой экстракт – 5, натрия хлорид – 8. Компоненты среды взвешивали пропорционально указанным количествам и растворяли в требуемом для приготовления питательных сред объёме дистиллированной воды. Начальное значение pH среды составляло 7,0–7,2. ПДА кроме компонентов, входивших в ПДБ, содержал 15 г/л агара микробиологического. Растворы солей металлов (пентагидрата сульфата меди, тригидрата уксуснокислого свинца, хлорида кадмия, моногидрата сульфата кобальта, гептагидрата сернокислого цинка) готовили из расчёта концентраций в них ионов металлов и стерилизовали отдельно. Их добавляли в расплавленные, охлажденные до 50 °С агаризованные и в жидкие питательные среды таким образом, чтобы конечная концентрация ионов металлов составляла 0,01–15 ммоль/л. Для определения влияния ингибирующих концентраций ионов металлов на агаризованную среду ПДА, разлитую в чашки Петри, засевали бактерии с помощью бактериальной петли медальонами и культивировали при 28 °С в течение 3 суток. Затем учитывали, какие концентрации ионов металлов ингибировали рост бактерий на чашках. Для определения влияния ионов тяжёлых металлов в жидких питательных средах, сначала выращивали ночные культуры бактерий. Затем из образцов ночной культуры пипеткой отбирали 0,3 мл и переносили в опытные пробирки с 2,7 мл ПДБ с добавленными определёнными концентрациями ионов металлов. Ингибирование роста бактерий в пробирках определяли визуально через 3 суток культивирования при 28 °С по отсутствию признаков роста бактерий, то есть если среда в пробирках оставалась прозрачной. К признакам бактериального роста в жидких средах относилось наличие мутности, плёнок, хлопьев и осадка.

Для проведения исследований из водохранилища отбирали пробы воды в течение шести месяцев в тёплое время года. Для выделения устойчивых к ионам металлов изолятов бактерий проводили посевы проб воды на агаризованные среды, содержащие ионы металлов в концентрациях 0,1–10 ммоль/л. Рост колоний бактерий на чашках Петри наблюдался до следующих концентраций ионов металлов, в ммоль/л: меди, свинца и кобальта – 5, цинка – 10, кадмия – 2. Среди выросших колоний на ПДА с ионами металлов для дальнейших исследований было отобрано восемь морфологически отличающихся изолятов.

С этими изолятами сначала проводилось исследования по влиянию концентраций ионов тяжелых металлов на агаризованных питательных средах (таблица 1).

Таблица 1

Изучение влияния ионов тяжелых металлов на рост бактерий на твердой питательной среде

Изолят	Ингибирующая концентрация ионов металлов, ммоль/л				
	медь	свинец	кадмий	кобальт	цинк
1	12,5	4,5	1,5	5	15
2	5,5	2	1	2	4
3	4	4,5	2,5	2	12,5
4	6,5	3	1	3,5	12,5
5	5	4,5	2	1,5	6,5
6	5	2	1	3	4
7	5,5	3,5	1	2	7,5
8	5,5	3,5	2	3	12,5

Исследуемые изоляты были наиболее чувствительны к ионам кадмия в концентрациях 1–2 ммоль/л и кобальта – 2–3 ммоль/л. Около 50 % исследуемых изолятов ингибировали следующие концентрации ионов металлов, ммоль/л: меди – 5,5, свинца – 3,5, цинка – 7,5. Для самых устойчивых изучаемых изолятов ингибирующие концентрации металлов на твердой питательной среде для составили, ммоль/л: меди – 12,5; свинца – 4,5; кадмия – 2,5; кобальта – 5; цинка – 15.

Для более точного установления ингибирующих концентраций ионов металлов проверено их влияние на рост отобранных изолятов в жидкой питательной среде (таблица 2).

Таблица 2

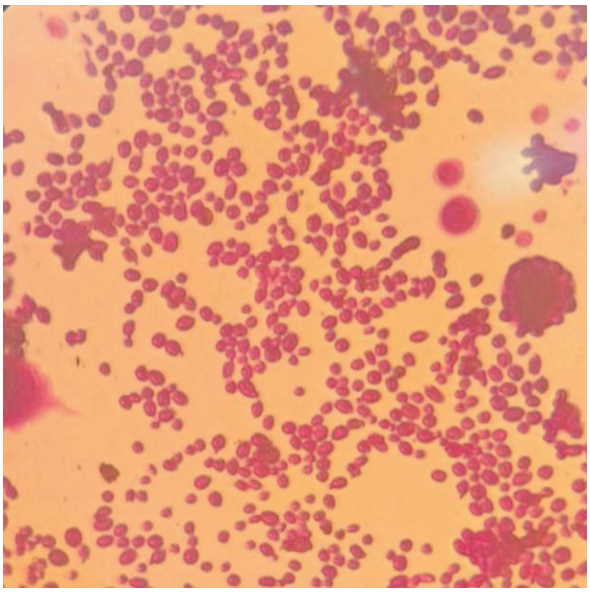
Изучение влияния ионов тяжелых металлов на рост бактерий в жидкой питательной среде

Изолят	Ингибирующая концентрация ионов исследуемого металла, ммоль/л				
	медь	свинец	кадмий	кобальт	цинк
1	7	3,5	1	3,5	10
2	3,5	1,5	0,5	1,5	3
3	2,75	3,5	1,5	0,75	10
4	5,5	2	0,5	2,5	10
5	4	3,5	1,25	0,75	4,75
6	3,75	1,25	0,8	2,25	2,75
7	4,5	2,5	0,5	1	6,5
8	4	2,5	1,5	2	10

По данным таблицы 2, исследуемые изоляты были наиболее чувствительны к ионам кадмия в концентрациях 0,5–1,5 ммоль/л и кобальта – 0,75–3,5 ммоль/л. Около 50 % исследуемых изолятов ингибировали следующие концентрации ионов металлов, ммоль/л: меди – 4, свинца – 2,5, цинка – 6,5. Максимальные ингибирующие концентрации металлов на жидкой питательной среде для изучаемых изолятов составили, ммоль/л: меди – 7; свинца – 3,5; кадмия – 1,5; кобальта – 3,5; цинка – 10. Устойчивым к более высоким концентрациям меди оказался изолят №1, свинца – изоляты №1 и №5, кадмия – №3, №5 и №8, кобальта – №1 и №6, цинка – №1, №3, №4 и №10. Таким образом, изолят №1 оказался устойчив к высоким концентрациям четырёх металлов: меди, свинца, кобальта и цинка.

Установлено, что при культивировании в жидких питательных средах ингибирование роста исследуемых бактерий проходило при концентрациях ионов тяжелых металлов на 25–35 % меньших, чем на твердых питательных средах. Это может быть связано со связыванием определённых количеств металлов с компонентами агаризованной среды.

Проведено изучение некоторых культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств изолята № 1. Он на твердых питательных средах образовывал гладкие, округлые, ярко розовые колонии крупного размера и пастообразной консистенции. При микроскопировании окрашенных мазков с иммерсионным объективом установлено, что клетки бактерий являлись грамположительными, имели овальную или шаровидную форму, располагались одиночно или в скоплениях (рисунок). Размер клеток составлял 4–6 мкм в диаметре. Изучаемый изолят обладал каталазной, оксидазной, протеолитической, липолитической и пектолитической активностями. Амилолитическую активность не проявлял. Сероводород и индол не образовывал. Изучение биохимических свойств выделенного изолята, а также результаты проведения дополнительных тестов позволили нам предварительно отнести его к роду *Rhodotorula* spp.



Микрокопирование клеток изолята №1

Таким образом проведено изучение влияния тяжёлых металлов на бактерии, выделенные из проб воды Чижовского водохранилища. При росте на жидкой питательной среде для самых устойчивых изолятов ингибирующие концентрации металлов составили, ммоль/л: меди – 7; свинца – 3,5; кадмия – 1,5; кобальта – 3,5; цинка – 10. Выделен изолят бактерий, устойчивый к высоким концентрациям четырёх металлов: меди, свинца, кобальта и цинка.

Библиографические ссылки

1. Оздоровление (очистка) водохранилища «Чижовское» в г. Минске [Электронный ресурс]. Минск, 2020. Режим доступа: Решения по КИПиА (lenadmin.gov.by). Дата доступа: 10.04.2024.

2., Оценка влияния ионов тяжёлых металлов на рост бактерий, выделенных из водоёмов города Минска / Пучкова Т.А. [и др.] // Инновационные биотехнологии для охраны окружающей среды : от теории к практике : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 23-25 апреля 2024 г.) / орг. ком. конф.: А. А. Шепшелев (пред.) и [др.]. Минск : ИнМи, 2024. С. 50–51.

3. Effects of heavy metals on bacterial growth, biochemical properties and antimicrobial susceptibility / F. Ngwewa [et al.] // Journal of Applied & Environmental Microbiology. 2022. Vol. 10. №. 1. P. 9–16.

4. Effects of heavy metals on microbial communities in sediments and establishment of bioindicators based on microbial taxa and function for environmental monitoring and management / C. Li [et al.] // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 749. P. 1415–1417.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЗОЛОТОГО КАРАСЯ В ОЗЕРАХ СПОРОВКОЕ И ЖЕРИНСКОЕ

Я. И. Шейко[1)], **А. М. Слуквин**[1)], **Я. П. Кулешевич**[1)]

[1)] *Государственное научное учреждение «Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси», ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь, Y.Sheiko@igc.by*

Изучались морфометрические и молекулярно-генетические характеристики золотых карасей *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758) в озерах Споровское и Жеринское. Установлено преимущество золотого карася из озера Жеринское по коэффициентам упитанности и высокоспинности, а также по уровню генетического полиморфизма микросателлитных маркеров. На основании полученных данных рекомендовано использовать золотого карася из озера Жеринское для интродукции в карасево-линевые водоемы с целью сохранения и восстановления его численности в водоемах Беларуси.

Ключевые слова: золотой карась; *carassius carassius*; морфометрические исследования; микросателлитный анализ; полиморфизм.

MORPHOMETRIC AND MOLECULAR GENETIC STUDIES OF CRUCIAN CARP POPULATIONS IN THE SPOROVSKOYE AND ZHERINSKOYE LAKES

Ya. I. Sheiko[1)], **A.M. Slukvin**[1)], **Ya. P. Kuleshevich**[1)]

[1)] *State Scientific Institution «Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus», Akademicheskaya str., 27, 220072, Minsk, Belarus, Y.Sheiko@igc.by*

The morphometric and molecular genetic characteristics of the crucian carp *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758) in the Sporovskoye and Zherinskoye lakes were studied. The superiority of the crucian carp from Lake Zherinskoye in terms of fatness and abundance coefficients, as well as in terms of the level of genetic polymorphism of microsatellite markers, has been established. Based on the data obtained, it is recommended to use the crucian carp from Lake Zherinskoye for introduction into the carp-lined reservoirs in order to preserve and restore its abundance in the reservoirs of Belarus.

Keywords: crucian carp; *carassius carassius*; morphometric studies; microsatellite analysis; polymorphism.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-285-289

Введение

Карась обыкновенный (золотой или круглый) распространен в Западной, Центральной и Восточной Европе, Сибири [1]. В Беларуси карась обыкновенный является аборигенным видом рыб. Ранее он был широко распространен в реках, озерах, прудах и малых водоемах, отмечался в небольших сажалках и карьерах, в которых кроме него другой рыбы не встречалось [2]. Наиболее многочисленным карась обыкновенный был в заболоченных, а также неглубоких и зарастающих пойменных водоемах бассейна Припяти.

Во второй половине XX столетия, в результате массовой интродукции серебряного карася, произошло резкое увеличение численности и области распространения этого инвазивного вида. Одним из наиболее негативных последствий того события явилось обострение конкурентных отношений между серебряным и близкородственным золотым карасем, что приводит к полному вытеснению золотого карася из тех мест, где появился серебряный. Было отмечено, что в благоприятных условиях (высокоэвтрофных, сильно зарастаемых мелководных водоемах) серебряный карась не только легко преодолел биологический барьер, создаваемый аборигенной ихтиофауной (пище-

вая конкуренция, хищничество, паразитизм т.д.), но и сам активно воздействовал на последнюю, подавляя до минимума численность даже таких жизнестойких рыб, как окунь, ерш, плотва [3].

По данным промысловой статистики вылова рыбы в Беларуси в 2012 г. из 229 водоемов, на которых осуществлялся промысловый лов рыбы, карась серебряный отмечался в 147 (64,2 %), золотой – только в 5 водоемах, причем в 4-х из них карась золотой отмечался вместе с серебряным. Отмеченные факты указывают на явную тенденцию замещения в водоемах Беларуси карася золотого карасем серебряным. Подобное явление характерно не только для Беларуси, но и для многих водоемов Европы [4], а также для регионов России [5]. По наблюдениям М.И. Абраменко [5], встречаемость золотого и серебряного карасей в левобережных пойменных водоемах р. Дон до середины 70-х гг. XX века была примерно одинаковой. В начале 1980- х годов золотой карась уже практически исчез из этих акваторий.

Причины обострения конкурентных отношений между двумя видами карасей, по-видимому, заключаются в том, хотя внешне амурский карась практически неотличим от серебряного карася, обитавшего ранее на обширных пространствах Европы и Азии, он представляет собой совершенно иную экологическую форму [6]. Эта форма отличается амфимиктическим (половым) размножением, в отличии от аборигенной формы, размножающейся гиногенетически [7-9]. Амурский карась, как и аборигенный, приспособлен к размножению в придаточных водоемах, но отличающаяся от последнего способностью к протяженным миграциям. Характерной чертой амурского карася является его способность создавать и поддерживать в сложных многовидовых ихтиоценозах гораздо более высокую численность и биомассу, в сравнении с местной формой серебряного карася.

Результаты исследований и их обсуждение

Морфометрические исследования золотых и серебряных карасей

Для изучения популяций золотых и серебряных карасей было обловлено около 20 водоемов во всех регионах Беларуси. Всего выловлено 375 экземпляров, из них золотых – 34, серебряных – 341. Соотношение выловленных золотых и серебряных карасей составило 1:10. Из всех водоемов, в которых был выловлен золотой карась, относительно большие выборки оказались только в двух озерах – Споровском (Брестская обл.) и Жеринском (Витебская обл.), поэтому для проведения морфометрических и генетических исследований особый интерес представляли популяции именно этих озер. Кроме того, в данных озерах наряду с золотым карасем также обитает серебряный карась, что дает возможность сравнить популяции двух видов карасей в пределах одного водоема. В таблицах 1 и 2 приведены средние значения морфометрических параметров золотых и серебряных карасей озер Споровское и Жеринское.

Таблица 1

Сравнение морфологических характеристик в популяциях золотого и серебряного карасей озера Споровское

	масса тела, г.	L общая длина тела, см	l (длина тела без хвоста, см	H высота тела, см	O охват тела, см	Коэф. l/H	$К_у$ Коэф. упитанности
$\bar{X}$ золотой	221,1	20,5	17,3	8,7	19,3	2,0	4,3
$\bar{X}$ серебряный	252,5	23,1	19,4	8,3	19,2	2,3	3,4
σ (золотой)	46,0	1,3	1,3	0,6	1,1	0,1	0,8
σ(серебряный)	53,5	1,7	1,6	0,6	1,4	0,1	0,4
df	51						
$t_{кр}$	2,0 (p=0,05)						
t_c	1,6	4,3	3,8	1,7	0,1	8,1	4,9

Таблица 2

Сравнение морфологических характеристик в популяциях золотого и серебряного карасей озера Жеринское

	масса тела, г.	L общая длина тела, см	l длина тела без хвоста, см	H высота тела, см	O охват тела, см	Pl длина хвостового стебля, см	Коэф. l/H	$К_у$ Коэф. упитанности
$\bar{X}$ золотой	471,7	26,2	21,7	12,0	25,6	5,6	1,8	4,6
$\bar{X}$ серебряный	513,4	27,7	23,0	12,0	26,8	6,1	1,9	4,1
σ (золотой)	69,1	1,0	0,9	0,7	2,6	0,5	0,1	0,4
σ (серебряный)	169,2	3,4	3,2	1,6	3,2	1,0	0,1	0,4
df	17							
$t_{кр}$	2,11 (p=0,05)							
t_c	0,8	1,5	1,4	0,1	0,8	1,1	2,5	2,4

По данным таблицы 1-2 популяции золотого и серебряного карасей достоверно отличаются коэффициентами высокоспинности (l/H) и коэффициентами упитанности и, кроме того, выявлено отличие в средней длине тела у карасей обоих видов озера Споровское. Полученные данные соответствуют данным литературных источников об экстерьерных отличиях двух видов: золотой карась обладает меньшей длиной тела, отличается большей высокоспинностью (меньшее значение l/H) и большей упитанностью.

Выборки карасей двух озер представлены особями двух различных возрастных групп (четырехлетки в Споровском и пятилетки в Жеринском), поэтому на данных выборках нет возможности сравнить измеряемые морфологические параметры двух популяций золотого карася. Однако эти популяции можно сравнить по расчетным коэффициентам, отражающим пропорции тела (l/H и Ку). Наименьшее значение коэффициента l/H отмечено у золотых карасей озера Жеринское (значение 1,8) – это наиболее высокоспинная популяция. У золотых карасей из озера Споровское показатель l/H выше (значение 2,0). В литературе по карповодству имеются данные, что высокоспинные рыбы демонстрируют более высокие темпы роста по сравнению с прогонистыми рыбами [10]. Этот показатель является одним из критериев в селекции карпа, который отражает его продуктивность. Весьма вероятно, что этот показатель у карася также коррелирует со скоростью роста и продуктивностью. По значениям коэффициента упитанности популяция золотых карасей озера Жеринское также имеет некоторое преимущество перед популяцией Споровского озера (4,6 против 4,3).

Сравнение популяций золотых карасей Споровсого и Жеринского озер по микросателлитным маркерам

Генетический анализ по четырем микросателлитным маркерам (YJ0008, YJ0009, YJ0010 и YJ0020) [11] выявил относительно низкие величины генетического полиморфизма в популяциях золотого карася озера Споровское (от 3 до 5 аллелей на локус, в среднем 4) и высокие значения полиморфизма у золотых карасей озера Жеринское (7 - 9 аллелей на локус, в среднем 8) (таблицы 3, 4).

Таблица 3

Результаты микросателлитного анализа образцов золотых карасей из оз. Спорово

№	YJ0008	YJ0009	YJ0010	YJ0020
1	240	187, 188	159	159, 164
2	240	183	159	157, 159
3	240	184	160	159
4	240	184	158, 161	158, 160
5	240	184	160	159
6	237	184	159	159
8	240	184	160	157, 160
9	239	184	160	159
кол-во аллелей	3	4	4	5

Таблица 4

Результаты микросателлитного анализа образцов золотых карасей из оз. Жеринское

№	YJ0008	YJ0009	YJ0010	YJ0020
1	240 ,254	185	153, 156	157, 160
2	230, 239	184, 191	161	157, 158
3	240	184, 199	153, 160	160
4	239, 243	190	152, 160	149, 153
5	230, 238	185, 200	157, 159	157, 160
6	239, 256	185	153, 160	159
7	240	184	153, 161	161
8	242	184	157, 160	158
9	229	187	156, 164	156
кол-во аллелей	9	7	8	8

Сравнение популяций карася двух озер выявило значительные различия в микросателлитных паттернах (таблица 5).

Таблица 5

Распределение аллелей в четырех локусах
в популяциях золотых карасей озер Споровское и Жеринское

YJ0008		YJ0009		YJ0010		YJ0020	
Спор.	Жер.	Спор.	Жер.	Спор.	Жер.	Спор.	Жер.
	229	183			152		149
	230	184	184		153		153
237			185		156		156
	238	187	187		157	157	157
239	239	188		158		158	158
240	240		190	159	159	159	159
	242		191	160	160	160	160
	243		199	161	161		161
	254		200		164	164	
	256						

Как видно из таблицы 5 несмотря на то, что длина амплифицированных фрагментов в каждом локусе варьирует в узких пределах (разница в длине между максимальной и минимальной величиной составляет 12-27 п.н.), спектры величин амплифицированных фрагментов перекрываются частично. Это может свидетельствовать о филогенетическом отдалении данных популяций золотых карасей. Популяция золотого карася из озера Жеринского обладает более выраженным полиморфизмом по всем изучаемым локусам, что может повышать ее генетическую пластичность и адапционные возможности.

Таким образом, исходя из результатов морфометрических и генетических исследований выявлены некоторые преимущества популяции золотого карася из озера Жеринское. Эти данные можно учитывать при проведении мероприятий по сохранению и восстановлению численности золотого карася в Беларуси и рекомендовать использовать рыбопосадочный материал для интродуцирования золотого карася в карасево-линевые водоемы из этого озера.

Библиографические ссылки

1. *Берг Л. С.* Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М., Л.: Изд-во АН СССР. 1949. Ч. 2. С. 469–925.

2. *Жуков П. И.* Рыбы Белоруссии. Минск: Наука и техника. 1965. 415 с.

3. Костюченко А.А. Акклиматизация рыб в водоемах Белоруссии // Труды БелНИИРХ. –1970. Т.7. С. 147–180.

4. *Lusk S., Luskova V., Hanel L.* Alien fish species in the Czech Republic and their impact on the native fish fauna // Folia Zool. 2010. 59(1). P. 57–72.

5. *Абраменко М. И.* Вытеснение серебряным карасем Carassius auratus gibelio близкородственных видов рыб в азовском бассейне как следствие процесса трансформации генетической структуры его популяции // Тезисы докладов международной научной конференции «Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем» / г. Ростов-на-Дону, 5-8 июня 2007 г. 2007. С. 11–12.

6. Рекомендации по сохранению карася золотого Carassius carassius (L.) в естественных водоемах Беларуси / В.К. Ризевский [и др]. Минск. 2013. С. 3–11.

7. *Ризевский В. К., Зубей А. В., Ермолаева И. А.* О вытеснении аборигенного карася золотого интродуцированным карасем серебряным // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2013. Вып. 29. С. 263–27.

8. *Полетаев А. С., Ризевский В. К.* Натурализация карася серебряного (Carassius auratus s. lato) на территории Беларуси // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2019. Вып. 35. С. 146–157.

9. *Костоусов Г. В.* Характеристики ихтиофауны рекреационных водоемов города Минска на современном этапе их эволюции // Тезисы доклада на III Международной научно-практической конференции «Современные проблемы рационального использования водных биоресурсов», г. Киев, 25–27 октября 2021 года.

10. *Лобченко В. В., Доманчук В. И.* Особенности роста и отбора карпа «Фресинет» в условиях Молдавии // Рыбохоз. исследования прудов Молдавии. г. Кишинев. 1985. С. 33–37.

11. Wei Guo, Jian-Fang Gui Microsatellite marker isolation and cultured strain identification in Carassius auratus gibelio // Aquaculture International. 2008. V. 16. P. 497–510.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕРМИНАЛОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Ю. М. Шулья[1)], **В. А. Пашинский**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, yuliyashulya@gmail.com*

В статье рассматриваются современные подходы к математическому моделированию биоэнергетических систем, ориентированные на оптимизацию работы биоэнергетических терминалов. Представлены критерии оценки моделей, включая точность, эффективность и адаптивность. Обсуждаются практические аспекты управления биоэнергетическими терминалами, такие как оптимизация хранения, операционная эффективность и экологические стратегии. Статья также выделяет перспективные направления исследований, включая интеграцию искусственного интеллекта и разработку масштабируемых решений для глобального внедрения.

Ключевые слова: биоэнергетические терминалы; математическое моделирование; экологическая устойчивость; операционная эффективность.

MATHEMATICAL MODELING OF BIOMASS TERMINALS: MODERN APPROACHES AND PRACTICAL IMPLEMENTATION

Yu. M. Shulya[1)], **V. A. Pashynski**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, yuliyashulya@gmail.com*

The article reviews modern approaches to mathematical modeling of bioenergy systems aimed at optimizing the operation of bioenergy terminals. Model evaluation criteria are presented, including accuracy, efficiency, and adaptability. Practical aspects of bioenergy terminal management, such as storage optimization, operational efficiency, and environmental strategies, are discussed. The article also highlights promising research areas, including the integration of artificial intelligence and the development of scalable solutions for global implementation.

Keywords: biomass terminals; mathematical modeling; environmental sustainability; operational efficiency.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-290-292

В условиях глобального перехода к устойчивой энергетике возобновляемые источники энергии, включая биоэнергетику, становятся ключевым элементом стратегий декарбонизации. Однако эффективное управление биоэнергетическими системами такими как биоэнергетические терминалы (biomass parks) требует разработки сложных математических моделей, способных учитывать множество факторов: от операционной эффективности до экологической устойчивости. Биоэнергетические терминалы – это специализированные объекты, предназначенные для хранения, обработки и управления биомассой, которая используется в качестве сырья для производства энергии. Последние исследования в этой области продемонстрировали значительный прогресс в создании комплексных подходов, которые позволяют балансировать между экономической целесообразностью и экологическими целями. В данной статье рассматриваются современные методологические подходы к моделированию биоэнергетических систем, их практическое применение в контексте биоэнергетических терминалов и перспективы дальнейшего развития.

Методологические основы.

Современные исследования установили три основных методологических подхода к моделированию в области биоэнергетики, каждый из которых имеет свои преимущества:

1. Принцип максимума Понтрягина:

Этот подход предоставляет теоретическую основу для оптимизации динамических систем, что делает его особенно полезным для управления процессами, связанными с биомассой. Например, он позволяет оптимизировать управление запасами биомассы, минимизируя затраты на хранение и максимизируя энергетическую отдачу. Точность прогностического моделирования достигает 85 %, что делает его надежным инструментом для долгосрочного планирования. Основное преимущество заключается в структурированном подходе к принятию решений, что позволяет минимизировать риски и оптимизировать использование ресурсов.

2. Динамическое программирование:

Этот метод обеспечивает детальное принятие решений на различных временных интервалах, что особенно полезно для краткосрочного планирования. Например, он помогает управлять ежедневными потоками биомассы, учитывая изменяющиеся условия поставок и спроса. Точность моделирования составляет 83 %, при этом метод демонстрирует высокую адаптивность к изменяющимся условиям. Динамическое программирование эффективно для задач, связанных с оптимизацией распределения ресурсов и управлением запасами биомассы.

3. Численные методы:

Численные методы достигают наивысшей точности (90 %) в решении сложных нелинейных уравнений, что делает их незаменимыми для практической реализации. Эти методы особенно полезны для моделирования систем с высокой степенью неопределенности, таких как процессы переработки биомассы. Основное преимущество заключается в возможности предоставления конкретных решений, которые могут быть непосредственно внедрены в производственные процессы.

Исследования установили комплексные критерии оценки подходов к биоэнергетическому моделированию:

Таблица 1

Показатели производительности моделей

Показатель	Описание	Важность
Точность	Точность прогнозов и результатов	Важна для надежного принятия решений
Эффективность	Затраты вычислительных ресурсов и скорость обработки	Важна для практической реализации
Адаптивность	Способность учитывать различные условия	Важна для реального применения

Практические применения и внедрение.

Интеграция теоретических моделей с практическими соображениями позволила сделать несколько ключевых выводов в области управления биоэнергетическими системами:

1. Оптимизация хранения

– Разработка сложных систем управления запасами, которые учитывают сезонные колебания и изменчивость качества биомассы.

– Внедрение адаптивных стратегий контроля, позволяющих минимизировать потери и максимизировать эффективность использования ресурсов.

– Интеграция различных типов биомассы и их свойств в единую систему управления.

2. Операционная эффективность

– Баланс между текущими потребностями и долгосрочной устойчивостью, что требует тщательного планирования и прогнозирования.

– Оптимизация распределения ресурсов, включая энергетические и материальные потоки.

– Минимизация отходов и избыточных затрат на хранение, что способствует снижению себестоимости биоэнергии.

Экологические аспекты и устойчивость.

Проводимые исследования подчеркивают критическую важность экологических факторов в моделировании биоэнергетического потенциала. Ключевые аспекты включают:

1. Управление ресурсами:

– Фокус на устойчивом использовании биомассы, что предполагает минимизацию негативного воздействия на окружающую среду;

– Интеграция оценок воздействия на окружающую среду в процесс принятия решений;

– Разработка экологически чистых способов переработки биомассы.

2. Баланс системы:

– Соответствие операционной эффективности экологическим целям, что требует комплексного подхода к управлению.

– Внедрение стратегий сокращения отходов и оптимизации использования ресурсов.

– Оптимизация существующих примеров использования ресурсов, включая переработку отходов сельского и лесного хозяйств.

Будущие направления исследований.

Современные тенденции в моделировании биоэнергетики указывают на несколько областей, требующих дальнейшего развития – методологический прогресс и практическая реализация.

Методологический прогресс может включать в себя интеграцию методов искусственного интеллекта для повышения точности прогнозов, разработку более совершенных алгоритмов оптимизации, способных учитывать множество переменных, а также усиление прогностических возможностей за счет использования различных данных.

Практическая реализация должна быть дополнена созданием удобных вычислительных инструментов, доступных для широкого круга пользователей, разработкой доступных фреймворков для принятия решений, которые могут быть адаптированы к различным условиям, расширением возможностей масштабирования, что особенно важно для глобального внедрения разработанных решений.

Область математического моделирования биоэнергетического потенциала претерпела существенное развитие, предлагая комплексные рамки для оптимизации управления биомассой и производства энергии. Биоэнергетические терминалы могут играть ключевую роль в этом процессе, обеспечивая хранение, эффективную переработку и использование биомассы. Последние исследования демонстрируют эффективность интегрированного подхода, сочетающего теоретическую строгость с практической адаптивностью. По мере роста глобального спроса на решения в области возобновляемой энергетики эти достижения в математическом моделировании будут играть все более важную роль в оптимизации систем производства биоэнергии.

Библиографические ссылки

1. *Leonel J. R.* Nunes Mathematical Modeling Approach to the Optimization of Biomass Storage Park Management [Электронный ресурс] URL: https://www.mdpi.com/2079-8954/12/1/17 (Дата обращения: 25.02.2025).

2. Sustainable management of biomass parks. A methodological proposal / Terrados Julio [et al.]. (2019)[Электронный ресурс] URL:https://www.researchgate.net/publication/339644235_Sustainable_management_of_biomass_parks_A_methodological_proposal (Дата обращения: 25.02.2025).

ЭЛЕКТРОГИДРОУДАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

А. Э. Юницкий[1)], **Н. С. Першай**[1)], **С. А. Арнаут**[1)]

[1)] *ЗАО «Струнные технологии», ул.Железнодорожная,33, 220070, г. Минск, Беларусь, n.pershai@unitsky.com*

В статье описывается процесс получения водоугольного топлива с использованием электрогидроударной установки UniThorr 3, разработанной компанией ЗАО «Струнные технологии». Особое внимание уделяется контролю дисперсионного состава и влажности суспензии, а также оптимизации параметров для достижения требуемых характеристик топлива. Подобран фракционный состав водоугольных суспензий, который соответствует требуемым реологическим характеристикам, седиментационной устойчивостью и может содержать до 49 % бурого угля.

Ключевые слова: водоугольное топливо; бурый уголь; электрогидроударная установка; измельчение.

ELECTRO-HYDROPOWER TECHNOLOGIES FOR PRODUCING COAL-WATER FUEL

A. E. Unitsky[1)], **N. S. Pershai**[1)], **S. A. Arnaut**[1)]

[1)] *Unitsky String Technologies Inc., Zheleznororozhnaya str, 33, 220070, Minsk, Republic of Belarus, n.pershai@unitsky.com*

The article describes the process of obtaining coal-water fuel using the electrohydropercussion unit UniThorr 3 developed by Unitsky String Technologies Inc. Particular attention is paid to controlling the dispersion composition and humidity of the suspension, as well as optimizing the parameters to achieve the required fuel characteristics. The fractional composition of water-coal suspensions has been selected, which corresponds to the required rheological characteristics, sedimentation stability and can contain up to 49 % brown coal.

Keywords: coal-water fuel; brown coal; electrohydropercussion unit; crushing.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-293-297

Обеспечение топливно-энергетическими ресурсами представляет собой одну из ключевых глобальных и национальных задач, актуальных как в текущих условиях, так и в долгосрочной перспективе. Для Республики Беларусь данная проблема усугубляется ограниченностью собственных энергоресурсов и высокой зависимостью от их импорта. В этой связи повышение энергоэффективности и диверсификация источников энергии за счёт освоения местных природных ресурсов становятся критически важными факторами обеспечения устойчивого развития экономики. В данном контексте разработка и внедрение инновационных, в том числе нетрадиционных, подходов к использованию природного сырья представляют собой перспективную альтернативу традиционным методам энергогенерации, что может способствовать снижению энергозависимости и повышению энергетической безопасности страны [1].

Использование бурого угля в качестве энергетического ресурса имеет длительную историю, однако его применение для производства водоугольного топлива (ВУТ) приобрело значительное распространение в таких странах, как Китай и Япония. В частности, Китай занимает лидирующие позиции в области внедрения ВУТ, где разработаны и утверждены национальные стандарты для данного вида топлива, активно используемого на тепловых электростанциях и в промышленных процессах [2].

ВУТ представляет собой гомогенную суспензию, состоящую из тонкодисперсной угольной пыли и воды, которая применяется в теплогенерирующих установках. Использование ВУТ способствует значительному снижению себестоимости производства тепловой энергии, а также уменьшению эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу. Ключевым этапом в производстве ВУТ является процесс измельчения угля до состояния мелкодисперсной фракции, что определяет эффективность всей технологии. Традиционно для этой цели применяются шаровые мельницы, вибромельницы и другие механические устройства. Однако в последнее время внимание исследователей привлекают электрогидроударные установки (ЭГУ), которые обеспечивают более интенсивное измельчение угля благодаря использованию ударных волн, генерируемых электрическими разрядами [3]. Данные установки демонстрируют повышенную эффективность по сравнению с традиционными методами, обеспечивая более высокую степень дисперсности угольной фракции. Внедрение ЭГУ в технологию производства ВУТ позволяет не только повысить качество конечного продукта, но и оптимизировать экономические затраты на его производство [4–5].

Процесс получения ВУТ требует строгого контроля за параметрами состава и характеристиками суспензии (табл.). Критически важным является достижение оптимального соотношения компонентов, что обеспечивает стабильность процесса горения и высокие энергетические показатели топлива.

Таблица

Оптимальные значения ВУТ, предназначенные для различных областей применения [6]

Параметр	Области применения				
	Угольные ТЭС	Мазутные ТЭС	Котельные	Двигатель внутреннего сгорания	Газогенераторы
Содержание угля, % (по массе)	60-70	60-70	62-65	48-54	50-65
Вязкость, Па·с, при 100 $с^{-1}$, не более	1,0	1,0	0,5	0,3	1,2
Содержание серы в сухом угле, % (по массе), не более	1,2	1,2	0,8	0,6	1,0
Средняя теплота сгорания, кДж/кг	21000	21000	21000	14600	18800
Зольность угля, % (по массе)	>12	>3-5	2-6	0,5-1,0	>12
Размер частиц, мкм, не более	250	150	45	25	200
Стабильность, сут, не менее	120	120	180	10	10

Соблюдение указанных параметров представляет собой сложную задачу, обусловленную зависимостью от характеристик исходного сырья, включая тип угля и его физико-химические свойства. Это требует проведения детального анализа и строгого контроля на всех этапах технологического процесса производства ВУТ.

Цель работы заключалась в исследовании влияния гранулометрического состава ВУС, полученной с использованием ЭГУ, на реологические и седиментационные свойства ВУТ.

Для приготовления ВУТ в рамках экспериментальных исследований была использована ЭГУ UniThorr 3, разработанная специалистами компании ЗАО «Струнные технологии» (рис. 1). Данная установка обеспечивает высокоэффективное измельчение угля благодаря своей конструкции, включающей генератор импульсных токов, рабочую камеру, устройство подачи угля, насос для подачи воды, классификатор и систему фракционного разделения частиц.

Технологический процесс начинается с подачи угля из бункера сырья (1) посредством шнекового питателя (2) в разрядную камеру ЭГУ (3), где происходит его измельчение в при-

сутствии воды с образованием ВУС. Затем суспензия поступает в классификатор (4) и систему осветления (5), где разделяется на три фракции с различным гранулометрическим составом. Полученные фракции направляются в накопительные ёмкости (6). После анализа дисперсионного состава ВУС, фракции в заданной пропорции подаются в реактор для приготовления ВУТ (8). Контроль влажности суспензии осуществляется в реальном времени, что позволяет корректно рассчитывать и дозировать компоненты в соответствии с рецептурой. Циркуляция жидкости в системе обеспечивается центробежным насосом (7).

Рис. 1. Электрогидроударная установка UniThorr 3

Принципиальная схема получения ВУТ с использованием электрогидроударной технологии показана на рис. 2.

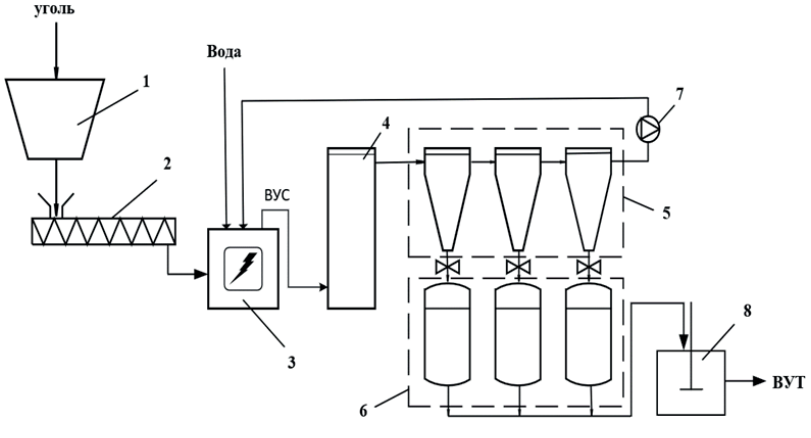


Рис. 2. Принципиальная схема получения ВУТ:
1 – бункер сырья; 2 – шнековый питатель; 3 – разрядная камера ЭГУ; 4 – классификатор;
5 – система осветления; 6 – накопительные ёмкости ВУС; 7 – центробежный насос;
8 – реактор для приготовления ВУТ

В качестве исходного сырья использовался бурый уголь марки Б1 Верхне-Сокурского месторождения, характеризующийся следующими параметрами: зольность – 12,5 %, влажность – 15,8 %, выход летучих веществ – 49,8 %, массовая доля общей серы – 1,44 %, низшая теплота сгорания – 20503 кДж/кг. Методы исследования включали анализ фракционного состава различных комбинаций ВУТ, а также оценку их динамической вязкости и седиментационной устойчивости.

В процессе работы ЭГУ после разделения и осветления были получены три фракции с различным гранулометрическим составом. Фракция № 1 характеризовалась диапазоном размеров частиц от 1 до 150 мкм (с единичными частицами до 250 мкм, составляющими менее 5 %), фракция № 2 – от 0,2 до 50 мкм, а фракция № 3 – от 0,2 до 30 мкм. Использование ВУС каждой фракции в отдельности оказалось неэффективным из-за чрезмерно высокой вязкости получаемого ВУТ. Установлено, что увеличение доли фракции № 1 в двухкомпонентных составах ВУТ приводит к снижению динамической вязкости в 10 раз.

Разделение ВУС на фракции обусловлено необходимостью достижения оптимального гранулометрического состава, обеспечивающего формирование плотноупакованной структуры частиц, которая отвечает ключевым требованиям к ВУТ: реологическим свойствам и седиментационной устойчивости.

Проведённые исследования различных составов (№ 1–6) продемонстрировали, что отсутствие крупных частиц (фракция № 1) в системе делает невозможным достижение требуемой текучести (рис. 3) и стабильности ВУТ в течение 7 суток (рис. 4). Мелкие фракции ВУС выполняют функцию заполнения поверхности крупных частиц, предотвращая их непосредственный контакт и минимизируя трение за счёт разделения крупномасштабных неровностей. Это способствует снижению сопротивления при перемещении крупных частиц в составе ВУТ, улучшая его реологические свойства.

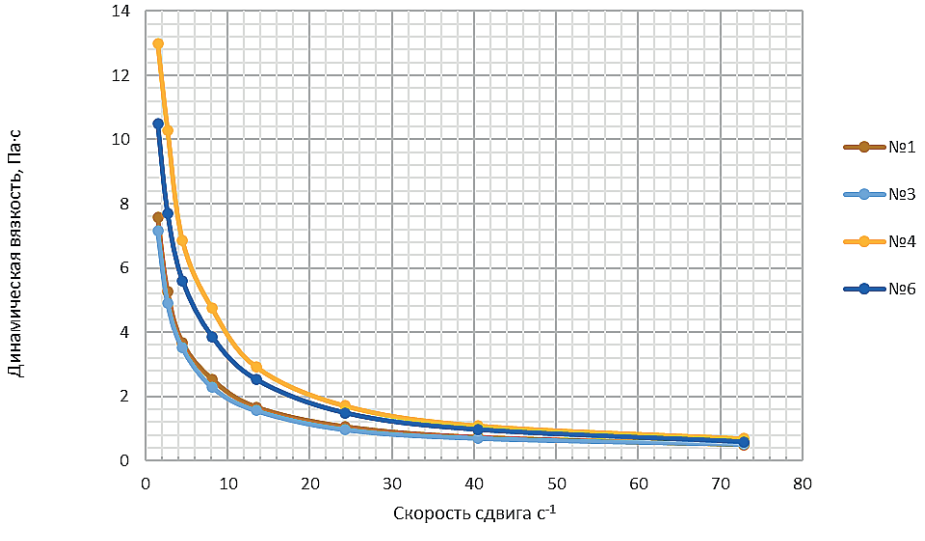


Рис. 3. Зависимости динамической вязкости от скорости сдвига трёхкомпонентных ВУТ с увеличением массовой доли фракции №1

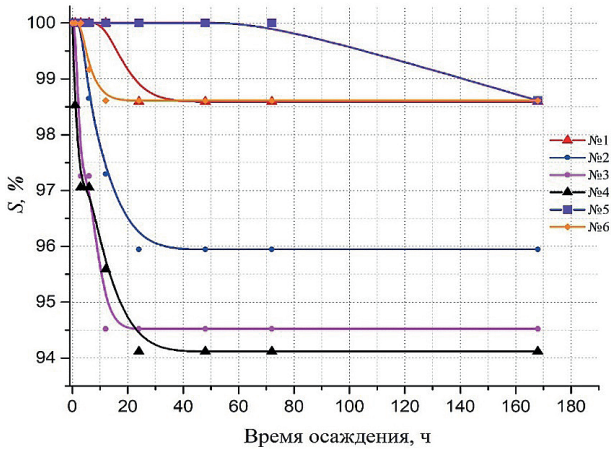


Рис. 4. Седиментационная устойчивость (S) трёхкомпонентных ВУТ в зависимости от времени наблюдения

Результаты исследований подтвердили, что использование электрогидроударной установки UniThorr 3 позволяет получать ВУТ с заданными характеристиками. Были проанализированы различные комбинации фракционного состава, вязкости и седиментационной устойчивости, что позволило определить оптимальный состав ВУТ для применения в теплогенерирующих установках. Установлено, что данный состав соответствует требуемым реологическим характеристикам, включая динамическую вязкость не более 2 Па·с при скорости сдвига 13 $с^{-1}$, и может содержать от 46 до 49 % бурого угля. При этом массовая доля угля коррелирует с диапазоном размеров частиц, представленных во фракции № 1.

На основе проведённых исследований разработана принципиальная схема производства ВУТ с использованием ЭГУ UniThorr 3, созданной компанией ЗАО «Струнные технологии».

В целом, ВУТ представляет собой перспективную альтернативу традиционным видам топлива, особенно в условиях, где требуется повышение экологической и экономической эффективности. Однако выбор оптимального топлива должен осуществляться с учётом конкретных технологических условий и эксплуатационных требований.

Библиографические ссылки

1. *Юницкий А. Э., Василевич В. В., Першай Н. С.* Комплексное использование бурого угля в реликтовой солнечной биоэнергетике // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты : материалы V международной научно-технической конференции, Марьина Горка, 23–24 сентября 2022 г. / ГП «СтройМедиаПроект». Минск, 2023. С. 120–127. (статья в печатных материалах конференции, 3 автора)
2. *Баранова М. П.* Комплексная технология получения и транспорта водоугольных топливных суспензий из углей разной степени метаморфизма // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2011. Т. 4, № 6. С. 613–619. (статья в печатном журнале 1 автор)
3. *Юткин Л. А.* Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986. 253 с. (печатное издание 1 автор)
4. *Юницкий А. Э., Першай Н. С., Арнаут С. А.* Варианты применения электрогидроударной установки в условиях проживания людей в космосе // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / СтройМедиаПроект. Минск: 2024. С. 322–335. (статья в печатных материалах конференции, 3 автора)
5. *Юницкий А. Э., Першай Н. С., Арнаут С. А.* Использование электрогидроудара в технологии приготовления водоугольного топлива // Эффективность инженерных систем и энергосбережение: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., Брест, 19–20 окт. 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т; под ред. В. Г. Новосельцева. Брест: Изд-во БрГТУ, 2023. С. 128–136.
6. *Ходаков Г. С.* Водоугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. №1. 2007. С. 35–45.

СЕКЦИЯ 5

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

К. В. Бодяков[1)], В. А. Иванюкович[2)], Е. В. Кот[2)], И. А. Тавгень[2)], М. Д. Шилов[2)]

[1)] Отделение анестезиологии и реанимации, Центр сердечно-сосудистой хирургии, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница», ул Бялыницкого-Бирули, 12Б, г. Могилев, 212026, Беларусь, kirill_bodyakov@mail.ru
[2)] Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Беларусь, iva@iseu.by

Описано мобильное программное приложение для операционной системы Android, предназначенное для анализа кислотно-щелочного состояния, позволяющее оперативно получать данные для принятия решения о диагнозе заболевания и назначения компенсаторной терапии. Использованы традиционные подходы к проведению анализа данных, которые соответствуют современным протоколам лечения. Созданы удобные интерфейсы для ввода данных, вывода результатов анализа информационных материалов. Приложение разработано с использованием кроссплатформенных технологий программирования и может быть легко адаптировано к различным операционным системам.

Ключевые слова: кислотно-щелочной баланс; кислотность; парциальное давление углекислого газа; уровень бикарбоната; анализ данных; диагноз заболевания; компенсаторная терапия; операционная система Android; кроссплатформенное приложение.

ANDROID APPLICATION FOR ANALYZING THE ACID-BASE BALANCE OF THE BODY

K. Badziakou[1)], U. Ivanyukovich[2)], E. Kot[2)], I. Tavgen[2)], M. Shylau[2)]

[1)] Department of Anesthesiology and Resuscitation, Center for Cardiovascular Surgery, Magilew Regional Clinical Hospital, Byalynitskaga-Biruli str, 12B, Magilew, 212026, Belarus, kirill_bodyakov@mail.ru
[2)] International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, Minsk, 220070, Belarus, iva@ iseu.by

A mobile software application for the Android operating system is described, designed to analyze the acid-base balance, allowing to quickly obtain data for diagnosis of the disease and prescribing compensatory therapy. Traditional approaches to data analysis are used, which correspond to modern treatment protocols. Convenient interfaces for input-output data and information materials are created. The application is developed using cross-platform programming technologies and can be easily adapted to various operating systems.

Keywords: acid-base balance; acidity; partial pressure of carbon dioxide; bicarbonate level; data analysis; disease diagnosis; compensatory therapy; Android operating system; cross-platform application.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-298-303

Кислотно-щелочное состояния (КЩС) организма играет важную роль в поддержании гомеостаза, а его нарушение может свидетельствовать о наличии серьёзных патологий. Анализ используется для диагностики и контроля течения заболеваний, таких как почечная недостаточность, сахарный диабет, дыхательная недостаточность, сепсис. Нарушения кислотно-щелочного баланса могут быть вызваны как первичными расстройствами (метаболические или респираторные), так и смешанными процессами, что требует глубокого анализа измеренных значений pH, pCO2 и HCO3– [1; 2]. Современные лабораторные анализаторы, такие как газоанализаторы крови, позволяют обрабатывать данные о состоянии КЩС, используя традиционные методы анализа. Однако существуют проблемы, особенно в случае смешанных расстройств, которые требуют срочного проведения дополнительных расчетов для назначения терапии, например, для респираторной поддержки, введения бикарбоната натрия или коррекции электролитного баланса. Для их выполнения необходимы значительные временные и интеллектуальные ресурсы медицинского персонала [1; 3; 4].

Предлагаемое программное приложение для операционной системы Android предназначено для автоматизации анализа КЩС и предоставляет врачу возможность получить необходимые данные для принятия обоснованных решений в штатных условиях. Его использование позволяет значительно сократить время обработки данных, минимизировать риск ошибок и повысить точность диагностики.

В приложении реализованы два традиционных подхода в анализе КЩС – пошаговый и табличный алгоритмы.

Пошаговый подход основывается на последовательной оценке ключевых параметров: pH, pCO_2 и HCO_3^-. Анализ начинается с определения отклонения pH (ацидоз или алкалоз), затем оценивается, какое нарушение (респираторное или метаболическое) является первичным, и завершается оценкой компенсации.

При использовании пошагового алгоритма на первом этапе производится идентификация первичных расстройств КЩС на основании данных о кислотности pH и парциальном давлении углекислого газа в артериальной крови PaCO2. Изменение этих параметров в одном направлении указывает на метаболическое расстройство. Также к первичным метаболическим расстройствам относятся случаи, когда pH изменено, а $PaCO_2$ – нет. Их изменение в противоположных направлениях указывает на респираторное расстройство. Если pH находится в пределах нормы, а $PaCO_2$ изменено, то это может свидетельствовать о компенсаторном ответе организма на метаболическое расстройство. Если оба показателя pH и $PaCO_2$ находятся в пределах нормы, но присутствуют другие аномальные показатели (например, изменения HCO_3^-), то это указывает на смешанные респираторно-метаболические расстройства.

На втором шаге выполняется оценка компенсаторных механизмов организма в зависимости от типа расстройства и расчет компенсации. Для метаболических нарушений (ацидоз или алкалоз) оценивается степень респираторной компенсации [4]. При метаболическом ацидозе или алкалозе дыхательная система пытается восстановить кислотно-щелочной баланс путём изменения уровня PaCO2. Оценки респираторной компенсации при метаболических нарушениях рассчитываются по формулам:

для метаболического ацидоза: PaCO2 = 1,5×[HCO3–] + 8(±2),

для метаболического алкалоза: PaCO2 = 0,7×[HCO3–] + 20(±5),

где $PaCO_2$ – расчетное (ожидаемое) значение парциального давления при респираторной компенсации, $[HCO_3^-]$ – уровень бикарбоната в крови, коэффициенты 1,5 и 0,7 определяют пропорциональное изменение $PaCO_2$ в ответ на изменения $[HCO_3^-]$, константы 8(±2) и 20(±5) учитывают физиологические колебания и особенности компенсации организма.

Оценка изменения $PaCO_2$:

- $PaCO_{2\ изм.} > PaCO_{2\ расч.}$ – сопутствующий респираторный ацидоз,
- $PaCO_{2\ изм.} < PaCO_{2\ расч.}$ – респираторный алкалоз,
- $PaCO_{2\ изм.} = PaCO_{2\ расч.}$ – компенсированное состояние.

Для респираторных нарушений (например, респираторный ацидоз или алкалоз) производится расчет метаболической компенсации, что включает оценку изменений концентрации бикарбоната HCO_3^- в крови. Расчеты компенсации выполняются по следующим формулам:

для острого ацидоза: $HCO_3– = 24 + (PaCO_2 – 40) / 10$,

для острого алкалоза: $HCO_3– = 24 – 2×(40 – PaCO_2) / 10$,

для хронического ацидоза: $HCO_3– = 24 + 4×(PaCO_2 – 40) / 10$,

для хронического алкалоза: $HCO_3– = 24 – 5×(40 – PaCO_2) / 10$,

где $PaCO_2$ – расчетное (ожидаемое) значение парциального давления при метаболической компенсации, 24 – нормальная концентрация бикарбонатов в крови в физиологических условиях (ммоль/л), 40 – среднее нормальное значение $PaCO_2$ (мм рт. ст.).

Оценка изменения HCO_3– для выявления сопутствующих расстройств:

- HCO3–изм.= HCO3–расч. – компенсированное состояние,
- HCO3–изм.> HCO3–расч. –сопутствующий метаболический алкалоз,
- HCO3– изм.< HCO3– расч. – на сопутствующий метаболический ацидоз.

На третьем шаге оценивается тип и степень метаболического ацидоза или алкалоза. Для этого рассчитываются анионная разница AG и «разница разниц» (gap – gap) [1; 5]:

$$AG = Na^+ + K^+ – (Cl^– + HCO_3^–),$$

где Na^+ – уровень натрия в плазме, K^+ – уровень калия в плазме, $Cl^–$ – уровень хлора в плазме, HCO_3− – уровень бикарбонатов в плазме. Нормальные значения AG варьируются в пределах 8-16 ммоль/л.

Значение разницы разниц позволяет получить более детальную оценку метаболического состояния и помогает в диагностике различных типов ацидозов и алкалозов.

$$gap – gap = \Delta AG / \Delta BE = (AG_{изм.} – AG_{норм.}) / (HCO_3^-{}_{норм.} – HCO_3^-{}_{изм.}),$$

где $AG_{изм.}$ – измеренная анионная разница, ΔBE – разница нормального и расчётного (измеренного) HCO_3^-, $AG_{норм.}$ =12 ммоль/л – нормальное значение анионной разницы, $HCO_3^-{}_{норм.}$ = 24 ммоль/л – нормальное значение бикарбонатов, $HCO_3^-{}_{изм.}$ – измеренное значение бикарбонатов.

Полученные значения разницы разниц (ΔAG/ΔBE) помогают в классификации метаболических расстройств:

– ΔAG/ΔBE<0,4: гиперхлоремический ацидоз с нормальной анионной разницей (AG);

– ΔAG/ΔBE=0,4−0,8: комбинированный метаболический ацидоз с повышенной или нормальной AG, часто связан с ацидозом при почечной недостаточности;

– ΔAG/ΔBE=1: характерно для диабетического кетоацидоза из-за потери кетоновых тел с мочой;

– ΔAG/ΔBE=1−2: типично для ацидоза с увеличенной анионной разницей (AG);

– ΔAG/ΔBE>2: предполагает изначальное повышение HCO_3^- (сосуществующий метаболический алкалоз или предшествующий респираторный ацидоз с метаболической компенсацией).

Этот шаг помогает оценить наличие сопутствующих расстройств, таких как гиперхлоремический ацидоз или метаболический ацидоз с повышенной анионной разницей, а также оценить компенсацию расстройств.

Табличный подход менее гибок и не учитывает нестандартные случаи, но позволяет быстро определить тип расстройства и степень компенсации. В нем используются таблицы для быстрого определения характера нарушений на основе заранее рассчитанных значений компенсации.

Значения уровней парциального давления углекислого газа в крови pCO2 и кислотности крови pH позволяет идентифицировать первичное нарушение и возможные сопутствующие расстройства. Рассматриваются всевозможные сочетания уровней.

1. Повышенный уровень pH (алкалоз).
   a. Высокое pCO_2 – Метаболический алкалоз.
      Оценивается ожидаемое (расчетное) значение парциального давления углекислого газа $pCO_{2\ расч.} = X = 0.7 \times HCO_3^- + 20(\pm 1.5)$,
      где коэффициент 0,7 отражает степень изменения pCO_2 при изменении уровня HCO_3^-,
      20 мм.рт.ст. – нормальное парциальное давление углекислого газа в крови.
      Интерпретация результатов:
      $pCO_{2изм.} > X$. – сопутствующий респираторный ацидоз;
      $pCO_{2изм.} = X$ – компенсированный метаболический алкалоз;
      $pCO_{2изм.} < X$ – сопутствующий респираторный алкалоз.
   b. Нормальное pCO_2 – Метаболический алкалоз, хронический метаболический алкалоз.
      Соотношение значений $pCO_{2\ расч.}$ и X не влияет на диагноз, в отличие от случая a, тем не менее информативно для врача.
   c. Низкое pCO_2 – Респираторный алкалоз.
      Компенсация рассчитывается, используя критерий Y, учитывающий изменение pH по отношению к изменению pCO_2:
      $Y = \Delta pH / \Delta CO_2 \times 100 = (pH_{норм.} - pH_{изм.}) / (pCO_{2\ изм.} - pCO_{2\ норм.}) \times 100$,
      где $pH_{норм.} = 7.4$, $pCO_{2\ норм.} = 40$, ΔpH – изменение pH относительно нормы, ΔCO_2 – изменение парциального давления CO_2 относительно нормы.
      Интерпретация значений Y:
      $Y > 0.8$ – сопутствующий метаболический алкалоз;
      $Y = 0.8$ – острый респираторный алкалоз;
      $0.2 < Y < 0.8$: частично компенсированный респираторный алкалоз;
      $Y < 0.2$: сопутствующий метаболический ацидоз.
2. Пониженный уровень pH (ацидоз).
   a. Высокое pCO_2 – Респираторный ацидоз.
      Используется критерий Y.
      Интерпретация результатов:
      $Y > 0{,}8$ – сопутствующий метаболический ацидоз;
      $Y = 0{,}8$ – острый респираторный ацидоз;
      $0{,}3 < Y < 0{,}8$ – частично компенсированный респираторный ацидоз;
      $Y < 0{,}3$ – сопутствующий метаболический алкалоз.
   b. Нормальное pCO_2 – Метаболический ацидоз.
      $X = 1.5 \times HCO_3^- + 8(\pm 2)$,
      где 1.5 – коэффициент, отражающий соотношение между изменением pCO_2 и уровнем HCO_3^- при компенсаторных процессах, 8 (±2) – добавочное значение, учитывающее физиологическую норму и возможные колебания.
      Интерпретация результатов:
      $pCO_{2изм.} > X$ – сопутствующий респираторный ацидоз;
      $pCO_{2изм.} = X$ – компенсированный метаболический алкалоз;
      $pCO_{2изм.} < X$ – сопутствующий респираторный ацидоз.
   c. Низкое pCO_2 – Метаболический ацидоз с респираторной компенсацией.
      Используется та же формула и интерпретация результатов аналогична случаю нормального pCO_2 (пункт b).

3. Нормальный pH.

При нормальном значении pH и измененном pCO_2 или HCO3– диагностируются смешанные расстройства:

– Если pCO_2 изменен – смешанные респираторные и метаболические нарушения.

– Если присутствуют аномалии других параметров (например, HCO_3^-), требуется дополнительный анализ.

Описанные выше алгоритмы анализа КЩС организма реализованы на языке Python с использованием фреймворка Kivy, который предоставляет кроссплатформенную основу для работы приложения на Android, а также потенциально на iOS, Windows, macOS и Linux, и менеджера экранов ScreenManager, который позволяет переключаться между основными экранами (Рис.) [6,7]:

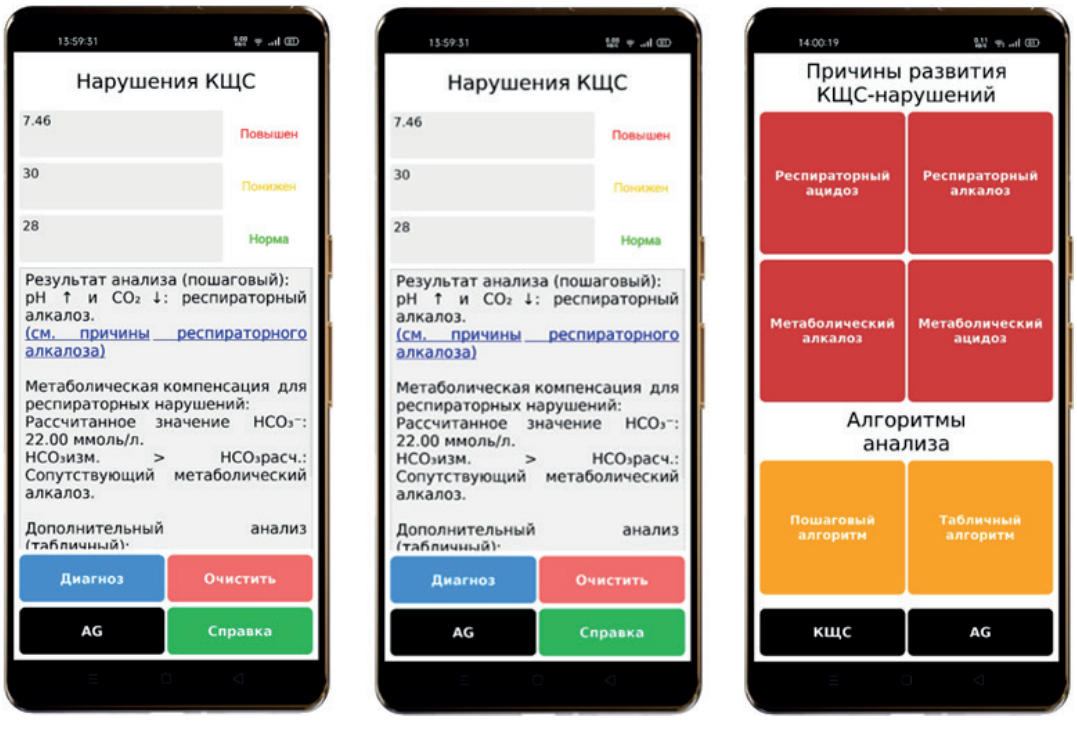
– экран анализа нарушений КЩС предназначен для ввода основных данных (pH, pCO_2, HCO_3^-) и вывода результатов анализа;

– экран расчёта AG и Gap-Gap предоставляет дополнительные возможности для анализа анионного разрыва и сопутствующих метаболических процессов;

– экраны для вывода вспомогательной информации.

Разработан дружественный интерфейс с разделением функциональности по экранам. Каждый параметр сопровождается статусной меткой, которая динамически отображает состояние (например, «Норма», «Повышен», «Понижен»). Цветовые обозначения статусов помогают визуализировать результаты (зелёный – норма, жёлтый – пониженное значение, красный – повышенное значение). Результаты выводятся в прокручиваемой текстовой области с выделением ключевых данных. Для их интерпретации используются медицинские протоколы (например, выявление гиперхлоремического ацидоза или метаболического алкалоза).

Проведено тестирование приложения с участием медицинских сотрудников центра сердечно-сосудистой хирургии, которые отметили высокую точность интерпретации нарушений КЩС и удобство работы. Алгоритмы приложения продемонстрировали соответствие современным медицинским стандартам и обеспечили высокую надёжность интерпретации данных.



Пользовательские интерфейсы мобильного приложения для анализа кислотко-щелочного состояния организма

Таким образом, в статье представлено описание мобильного программного приложения для операционной системы Android, предназначенное для расчета кислотно-щелочного баланса, позволяющее оперативно получать данные для принятия решения о диагнозе заболевания и назначения компенсаторной терапии. Использованы традиционные подходы к проведению анализа данных, которые соответствуют современным протоколам лечения. Приложение разработано с использованием кроссплатформенных технологий программирования и может быть легко адаптировано к различным операционным системам.

Библиографические ссылки

1. *Костюченко С. С.* Кислотно-основное состояние: физиология, нарушения, коррекция : М.: Медицинская литература, 2024. 336 с.
2. *Берксон Л. Д.* Кислотно-щелочное состояние и его нарушения : М.: Медгиз, 1980. 340 с.
3. *Гайдуков А. Н., Корягин А. В.* Метаболические нарушения: современные подходы к диагностике и лечению : СПб.: Питер, 2010. 256 с.
4. *Розен П.* Анализ кислотно-щелочного состояния: руководство для практиков : М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. 152 с.
5. *Хендерсон Л. Дж.* Физико-химические аспекты кислотно-щелочного равновесия : Н.-Й.: Академик Пресс, 1971. 350 с.
6. Kivy Documentation: Programming Guide. URL: https://kivy.org/doc/stable/ (дата обращения: 18.12.2024).
7. *Тимофеев А. В.* Python и фреймворк Kivy: создание кроссплатформенных приложений : М.: ДМК Пресс, 2022. 288 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ БЕЛОРУССКОГО ЯЗЫКА

А. Л. Карпей[1)], **А. С. Мельгуй**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kar_an@tut.by*

С использованием языка программирования C#, среды разработки Visual Studio и фреймворка для разработки кроссплатформенных приложений Xamarin.Forms разработано приложение для устройств с операционной системой Android, Windows и iOS для изучения белорусского языка. В приложении реализован функционал, ежедневно предлагающий пользователю изучать новый фразеологизм, при необходимости добавлять или удалять его из списка “Избранное”, возвращаться к уже изученным фразеологизмам для их повторения. Также был разработан NFC-словарь и приложение к нему с использованием кроссплатформенной среды разработки Unity и языка программирования C#, позволяющий изучить фразеологизмы белорусского языка людям с нарушениями зрения и слуха.

Ключевые слова: кроссплатформенное приложение; белорусский язык; фразеология; элементы инклюзии; NFC-словарь.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN STUDYING THE BELARUSIAN LANGUAGE

A. L. Karpei[1)], **A. S. Melguy**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kar_an@tut.by*

Using the C# programming language, Visual Studio development environment, and cross-platform application development framework Xamarin.Forms has developed an application for devices with the Android, Windows 10 and iOS operating systems for learning the Belarusian language. The application implements functionality that daily invites the user to learn a new phraseological unit, if necessary, add or remove it from the Favorites list, and return to already studied phraseological units to repeat them. An NFC dictionary and an application for it were also developed using the cross-platform development environment Unity and the C# programming language, which allows people with visual and hearing impairments to learn phraseological units of the Belarusian language.

Keywords: cross-platform application; Belarusian language; phraseology; elements of inclusion; NFC-dictionary.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-304-307

Целью работы является создание кроссплатформенного приложения «Фразеалагізм дня» с простым и понятным интерфейсом и информационным наполнением, а также NFC-словаря и мобильного приложения к нему, что позволит пользователю, в том числе с нарушениями зрения и слуха, заинтересованному в изучении белорусского языка, легко и непринужденно изучить раздел белорусского языка «Фразеалогія». Основными задачами приложения являются: ежедневно предлагать пользователю изучить новый фразеологизм с его следующими характеристиками: вариант написания на белорусском языке, вариант написания на русском языке, его значение, происхождение, пример использования, этимология, а также картинка к этому фразеологизму для закрепления визуальной ассоциации. Основными задачами NFC-словаря явля-

ются: помочь изучить раздел белорусского языка «Фразеалогія» людям с нарушениями зрения и слуха с использованием элементов инклюзии. Дополнительные возможности NFC-словаря и приложения к нему, помогающие повысить эффективность его использования – получение дополнительной информации с использованием дополненной реальности.

Белорусский язык является государственным языком Республики Беларусь наравне с русским и может быть использован во всех сферах деятельности ее жителей. Белорусский язык применятся преимущественно в законодательстве, делопроизводстве, образовательном процессе, изредка в медицинском и бытовом обслуживании. Многие лингвисты подчеркивают важность родного языка, выполняющего этническую функцию и выступающего как средство для объединения народа и национальный символ.

По итогам переписи населения, проводимой в 2019 году, 61,2 % или 4 893 139 белорусов по национальности указали белорусский язык как родной. При этом белорусский язык в повседневной речи намного чаще используют жители сельской местности, нежели городов [1].

По стандартам Министерства образования Республики Беларусь белорусскоязычными называются школы, в которых есть хотя бы один класс с преподаванием на белорусском языке. В 2023 году 40 % школ являлись белорусскоязычными [2]. Количество учащихся, которые обучаются в этих 40 % школ, составляет около 10 % (это преимущественно сельские школы, в которых традиционно проходят обучение на белорусском языке). В 2022/2023 учебном году 434 тыс. школьников в Беларуси проходило обучение в белорусскоязычных школах. Примерно каждый пятый выпускник школы выбирает при сдаче экзамена по государственному языку именно белорусский язык.

В Республике Беларусь, по данным Республиканского института контроля знаний (РИКЗ) и Министерства образования Республики Беларусь, ежегодно около 29 % абитуриентов выбирают в качестве одного из предметов в рамках ЦТ/ЦЭ белорусский язык. Данный показатель является относительно стабильным на протяжении последних трех лет [3].

С 2022/2023 учебного года был введен обязательный централизованный экзамен по русскому или белорусскому языкам. По данным РИКЗ и Министерства образования Республики Беларусь, около 28 % абитуриентов выбрали белорусский язык в качестве первого предмета в рамках ЦЭ.

Образование, как и любая другая область человеческой жизни, было в значительной степени затронуто глобальными процессами цифровой трансформации. Подобные тенденции привели к возникновению специализированных интернет-платформ и мобильных приложений, направленных на помощь школьникам и студентам в изучении того или иного предмета, в том числе белорусского языка.

Таким образом, поддержка белорусского языка в Республике Беларусь как национального символа и культурной ценности выступает важным направлением определения национальной идентичности белорусского народа. К системному изучению белорусского языка жители республики приступают еще со школьной скамьи, а потом самостоятельно выбирают его как один из предметов в рамках ЦЭ или ЦТ. Разработка и поддержка тематического сайта для развития у учащихся языковых и речевых компетенций по белорусскому языку признается высоко перспективной в условиях необходимой образовательной поддержки.

Министерством образования разработан *единый информационно-образовательный ресурс* (ЕИОР) и создан контент с целью учебно-методического обеспечения образовательного процесса в учреждениях общего среднего образования.

ЕИОР предназначен для обеспечения всех участников образовательного процесса (администрации учреждения образования, педагогических работников, учащихся, законных представителей несовершеннолетних учащихся) цифровыми инструментами, повышающими эффективность их участия в этом процессе [4].

Цели ЕИОР:

– формирование условий для создания современного цифрового образовательного контента, эффективных образовательных онлайн-сервисов;

– обеспечения всех участников образовательного процесса современными средствами для удовлетворения своих информационных, образовательных потребностей и запросов, а также для осуществления профессиональной деятельности;

– создание условий для глубокого и качественного анализа хода и результатов образовательного процесса на всех уровнях системы образования (учреждение образования, район, регион, республика);

– снижение затрат на разработку, внедрение, сопровождение, модернизацию и развитие цифрового образовательного контента, образовательных онлайн-сервисов, образовательных информационных систем и ресурсов республиканской информационно-образовательной среды (РИОС), в том числе за счет использование компонентов информационного ядра РИОС общего пользования.

С 1 сентября 2021 г. ЕИОР вступил в действие.

На данном ресурсе преимущественно представлены видеоматериалы по изучению учебных предметов, включая белорусский язык.

Asistent.by представляет собой интернет-ресурс с голосовым помощником на основе искусственного интеллекта, способным разговаривать и генерировать ответы на белорусском языке.

В результате анализа существующих ресурсов по изучению белорусского языка аналогов разработанного приложения не было выявлено.

С использованием языка программирования C#, среды разработки Visual Studio и фреймворка для разработки кроссплатформенных приложений Xamarin.Forms разработано приложение для устройств с операционными системой Android, Windows и iOS по изучению белорусского языка. В приложении реализован функционал, ежедневно предлагающий пользователю изучать новый фразеологизм, при необходимости добавлять или удалять его из списка “Избранное”, возвращаться к уже изученным фразеологизмам для их повторения. Также был разработан NFC-словарь и приложение к нему с использованием кроссплатформенной среды разработки Unity и языка программирования C#, позволяющий изучить фразеологизмы белорусского языка людям с нарушениями зрения. Все данные о фразеологизмах хранятся в базе данных SQLite и хранятся прямо на устройстве с момента установки приложения.

При первом запуске приложения пользователь видит окно приветствия. Перейдя на следующую страницу, пользователю предлагается изучить первый фразеологизм. После просмотра нового фразеологизма, он сохраняется на странице «Вывучаныя фразеалагізмы», где, при необходимости, пользователь может к нему вернуться и повторить.

NFC-словарь состоит из NFC-карточек, каждая из которых содержит в себе три элемента: картинку для получения дополнительной информации с использованием дополненной реальности через разработанное приложение к нему, ссылку на фразеологизм, получаемую через NFC-модуль, а также шрифт Брайля на обратной стороне карточки для его изучения людям с нарушениями зрения.

В приложении «Фразеалагізм дня» пользователю предоставлен следующий функционал:

– Страница «Фразеалагізмы дня». На данной странице пользователь изучает новый фразеологизм, который включает в себя следующие характеристики: вариант написания на белорусском языке, вариант написания на русском языке, его значение, происхождение, пример использования, этимология, а также картинка к этому фразеологизму для закрепления визуальной ассоциации (рисунок 1);

– Страница «Выбраныя фразеалагізмы». На данной странице отображаются фразеологизмы, которые пользователь добавил в избранное. При необходимости их можно удалить из этого списка (рисунок 2);

– Страница «Вывучаныя фразеалагізмы». На данной странице отображаются ранее изученные пользователем фразеологизмы (рисунок 3).

NFC-словарь предлагает следующие функции:

– Дополненная реальность. На каждой карточке размещена картинка, характеризующая изучаемый фразеологизм. При запуске приложения для NFC-словаря на мобильном устройстве с операционной системой Android запускается камера, при наведении которой на картинку запускается озвучка этого фразеологизма и на экране телефона появляется сам фразеологизм, что является очень полезным и эффективным для пользователей с нарушением зрения (рисунок 4);

– NFC-модуль. В каждую карточку внедрен NFC-модуль, который позволяет перейти по ссылке и изучить каждый фразеологизм более подробно (рисунок 5);

– Шрифт Брайля. На обратной стороне карточки расположен фразеологизм, написанный с использованием шрифта Брайля, что будет весьма полезным для пользователей с нарушением зрения.

Рис. 1. Страница «Фразеалагізм дня»

Рис. 2. Страница «Выбраныя фразеалагізмы»

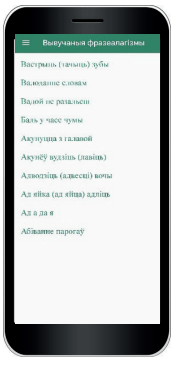


Рис. 3. Страница «Вывучаныя фразеалагізмы»

Рис. 4. NFC-словарь

Рис. 5. NFC-карточки

В результате выполнения данной работы разработано кроссплатформенное приложение, а также NFC-словарь с элементами инклюзии и приложение к нему, позволяющие интересно, и относительно просто изучать раздел белорусского языка «Фразеалогія» всеми желающими, в том числе пользователями с нарушениями зрения и слуха.

Библиографические ссылки

1. Белстат: для 61,2% белорусов родной язык – белорусский // БЕЛТА [Электронный ресурс]. URL: https://belta.by/society/view/belstat-dlja-612-belorusov-rodnoj-jazyk-belorusskij-406281-2020/ (дата обращения: 16.02.2025).

2. Иванец: 40% школ в стране – белорусскоязычные // БЕЛТА [Электронный ресурс]. URL: https://belta.by/society/view/ivanets-40-shkol-v-strane-belorusskojazychnye-585940-2023/ (дата обращения: 16.02.2025).

3. РИКЗ: каждый третий абитуриент выбрал для ЦТ 4 учебных предмета // БЕЛТА [Электронный ресурс]. URL: https://belta.by/society/view/rikz-kazhdyj-tretij-abiturient-vybral-dlja-tst-4-uchebnyh-predmeta-394180-2020/ (дата обращения: 18.02.2025).

4. Цели и задачи ЕИОР // Единый информационно-образовательный ресурс [Электронный ресурс]. URL: https://eior.unibel.by/ru/цели-и-задачи/ (дата обращения: 19.02.2025).

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РОСТА ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Н. В. Карпович[1)], **Т. В. Смирнова**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, smirnova@iseu.by*

Реализованы алгоритмы по созданию виртуальных деревьев, подтверждающие гипотезу о способности организмов к изменению форм и возникновению других видов как реакцию на изменение условий окружающей среды.

Ключевые слова: эволюционное программирование; генетические алгоритмы; «цифровые деревья»; C#

EVOLUTIONARY MODEL OF TREE GROWTH IN INTERACTION WITH THE ENVIRONMENT

N. Karpovitch[1)], **T. Smirnova**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, smirnova@iseu.by*

Algorithms for creating virtual trees have implemented, confirming the hypothesis about the ability of organisms to change forms and the emergence of other species as a response to changing environmental conditions.

Keywords: evolutionary programming; genetic algorithms; «digital trees»; C#

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-308-312

Современные исследования в области биологии и информатики всё чаще пересекаются, что приводит к возникновению новых моделей, способных имитировать процессы естественного отбора и эволюции. В частности, модели, основанные на генетических алгоритмах, позволяют изучать, как различные условия влияют на развитие виртуальных организмов в условиях, приближенных к реальным. Это открывает новые горизонты для понимания механизмов эволюции и адаптации.

Растущий спрос на прогнозирование в экологии, в частности, в таких областях, как сокращение биоразнообразия, глобальные изменения климата, опасные явления природы, требуют разработки как новых подходов в области экологии, так и совершенствования уже разработанных на базе новых технологий.

Цель работы – разработка и анализ эволюционной модели, способной демонстрировать процессы естественного отбора и адаптации в условиях изменяющейся среды. Применение в модели генетических алгоритмов позволит симулировать рост и развитие деревьев, основываясь на принципах эволюции и взаимодействия с окружающей средой. Это может быть полезно для изучения биологических процессов, таких как адаптация и выживание видов в различных условиях; исследование форм ветвления деревьев и их реакции на изменения в окружении для понимании экосистемных взаимодействий.

Эволюционные модели

Эволюционное моделирование – это направление в математическом моделировании, которое использует положения эволюционной биологии и популяционной генетики для создания интеллектуальных систем. Оно основывается на нескольких ключевых принципах:

1. Наследственная изменчивость как предпосылка эволюции, подразумевающая передачу генетической информации от родителей к потомкам.

2. Борьба за существование: фактор, который определяет, какие особи выживают и размножаются.

3. Естественный отбор моделируется через выполнение процедуры селекции членов популяции. Качество объекта популяции (качество решения) пропорционально вероятности его перехода полностью или частично в следующее поколение.

Особенности эволюционного моделирования как технологии поиска оптимальных решений в том, что наряду с обычным используется закодированное представление значений параметров задачи (в виде хромосомы); поиск решения происходит не из единственной точки, а из «популяции» точек; в процессе поиска используется значение целевой функции, а не ее приращения; выполняется одновременный анализ различных областей пространства решений. Такие особенности реализации алгоритма решения позволяют накапливать и использовать знания о пространстве поиска и, как следствие, проявлять способность к самообучению.

Эволюционное моделирование включает в себя несколько методов: генетические алгоритмы, которые используют случайный поиск для нахождения оптимальных решений, имитируя процесс естественного отбора; генетическое и эволюционное программирование и эволюционные стратегии. Их компьютерная реализация позволяет глубже изучить процессы естественной эволюции и применить знания к любой области.

Чтобы смоделировать эволюционный процесс, предполагают, что имеется некоторое пространство решений, заполненное всеми возможными решениями задачи. Процесс поиска заключается в исследовании точек этого пространства, чтобы на каждом шаге улучшать значения всех параметров задачи.

Решение основано на выполнении условий: на каждой итерации (эволюции) поиска новая популяция состоит только из «жизнеспособных» объектов (селекция); каждая новая популяция лучше (более приспособленная), чес предыдущая; в процессе эволюции следующая популяция зависит только от предыдущей, но с определенной вариацией.

Для решения поставленной задачи был применен метод генетических алгоритмов.

Принцип работы генетического алгоритма

Генетический алгоритм (ГА) – метод эволюционного моделирования, предназначенный для решения задач оптимизации и основанный на использовании аналогий с природными процессами естественного отбора и генетических преобразований. Информация для работы ГА представляется в следующем виде (рис.1)

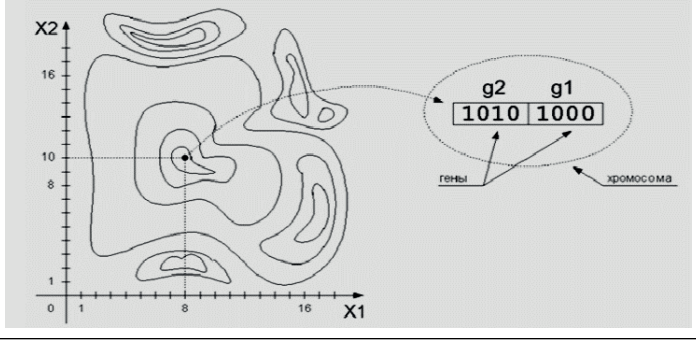
– используется явное разделение на пространство поиска (генотип) и пространство решений (фенотип); – каждое решение кодируется в виде бинарной хромосомы *C* длиной *L(C)*, состоящей из *n* а генов *g*; каждый ген – это двоичный код длиной *L(g)* и означает одну переменную задачи оптимизации	

Рис. 1. Закодированная в бинарном виде хромосома

Здесь: генотип – множество решений задачи в закодированном виде набора генов, содержащихся в наборе хромосом, или пространства поиска; фенотип – множество решений задачи в привычном для восприятия виде; хромосома – решение, строка, последовательность; популяция – множество решений; ген – переменная.

Генетический алгоритм включает несколько этапов, которые повторяются итеративно до достижения заданного критерия остановки. Каждая итерация генетического алгоритма включает в себя следующие шаги:

1. Создание начальной популяции: формируется случайным образом и состоит из множества *N*p возможных решений (особей). Каждый генотип представляет собой кодированное решение задачи.

2. Оценка приспособленности: каждая особь оценивается с помощью функции приспособленности (fitness-функции), которая определяет её качество в соответствии с задачей. Чем выше значение функции, тем лучше особь подходит для решения.

3. Отбор: на этом этапе выбираются родительские особи для создания нового поколения. Отбор может осуществляться различными методами, но важно, чтобы более приспособленные особи имели большую вероятность быть отобранными.

4. Скрещивание (кроссинговер): отобранные родители комбинируются для создания потомства. Этот процесс может включать одноточечное или многоточечное скрещивание, где части генов родителей объединяются для формирования новых особей.

5. Мутация: для поддержания генетического разнообразия в популяции применяется мутация, которая вносит случайные изменения в генотипы потомков, чтобы избежать сходимости к локальным оптимумам.

6. Формирование нового поколения: после скрещивания и мутации создается новое поколение особей, которое затем снова проходит оценку приспособленности. Этот цикл повторяется до тех пор, пока не будет достигнут критерий остановки: максимальное количество поколений или удовлетворительное значение функции приспособленности.

Численная реализация

Программа для реализации алгоритма написана на языке программирования C#. Графический интерфейс приложения организован в виде HTML-страницы с подключением CSS-стилей и JavaScript-библиотек.

При численной реализации генетического алгоритма создана начальная популяция из *N*p случайно сгенерированных хромосом, к которым применялись операции отбора (селекции), рекомбинации и мутации. На этапе селекции применялся метод турнирного отбора, в котором популяция случайным образом разбивается на группы из *N*t хромосом. Лучшая хромосома из каждой группы отбирается в следующее поколение. «Наихудшая» хромосома популяции не может попасть в следующее поколение.

После отбора был применен оператор кроссинговера, предназначенный для обмена генетическим кодом между хромосомами–родителями для генерации хромосом-потомков для следующего поколения. Применялось бинарное кодирование. Оператор мутации состоял в изменении с некоторой небольшой вероятностью значения каждого бита в случайной точке на противоположное.

Условием окончания работы алгоритма являлось снижение скорости сходимости решения (на протяжении определенного числа поколений его качество не изменяется). Как результат работы программы, принимается хромосома последнего поколения с максимальным значением fitness-функции.

Принцип работы генома при моделировании роста виртуального дерева

Модель генома содержит 24 гена, а каждый ген состоит из четырех переменных и набора параметров.

Каждая переменная соответствует одному из направлений развития дочерней особи (отростка) относительно родительской клетки: вверх, вниз, влево, вправо.

Входящие в ген параметры отвечают за: максимальное время жизни дерева; начальную величину энергии; количество энергии необходимое для дальнейшего роста дерева; параметры, связанные с потерей и получением энергии; параметр-вероятность получения дополнительной энергии солнца для роста.

Интерфейс для работы с моделью показан на рис.2

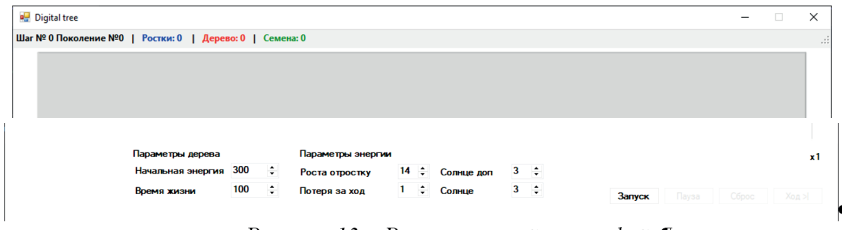


Рис. 2. Графический интерфейс

При появлении первой клетки особи ей присваивается номер гена 1, и статус отростка. Если накопленной или заданной вначале энергии достаточно, клетка прорастает, создавая до трех новых клеток особи и теряя статус ростка (его наследуют дочерние клетки). Номер генома дочерней клетки указан в геноме материнской как одна из переменных. Если в переменной указан несуществующий номер гена, дочерняя клетка не появится вовсе. Если смерть особи наступает по естественным причинам (возраст достигает значения параметра «Время жизни»), то особь раскидывает семена, из которых появятся новые особи с тем же геномом, однако в алгоритме заложено условие, что в течение этого процесса может произойти мутация одного из генов с вероятностью до 50 %. Если энергия для роста заканчивается раньше, то наступает смерть особи без потомства.

Параметры энергии. При зарождении у особи есть некоторый запас солнечной энергии (параметр «Начальная энергия»), который её клетки тратят на каждой итерации (параметр «Потеря за ход»). Также энергия необходима росткам для дальнейшего роста (параметр «рост отростку»). Получение энергии клеткой зависит от параметра «солнце», «высоты» (положение клетки по вертикали) и количества клеток (как чужих особей, так и особи, к которой относится клетка) над ней. Это означает, что если над клеткой нет других клеток, она получает энергию от солнца в полной мере, если одна клетка, то 60 %, если две, то 20 %, а если клеток сверху три или более, то энергии от солнца не поступает.

Итоговая формула: *(энергия солнца + высота) × колКлеток.*

Чтобы особи могли развиваться на ранних этапах при недостаточном освещении, в модель входит параметр «солнце_доп». Эту энергию особи получают гарантированно.

Результаты моделирования

Для тестирования модели рассмотрены различные наборы параметров.

При наборе параметров, когда цена на жизнь клетки установлена очень дорогой: «начальная энергия» = 300; «солнце_доп» = 8, «потеря за ход» = 10, особи вырастают высокие и тонкие, подобное строение позволяет быстро захватить место под солнцем и сэкономить энергию.

На рис. 3 показан результат, когда из-за изобилия ресурсов особи стремятся занять максимально возможное пространство, разрастаясь в стороны, создавая тень и не давая возможности образованию новых особей.

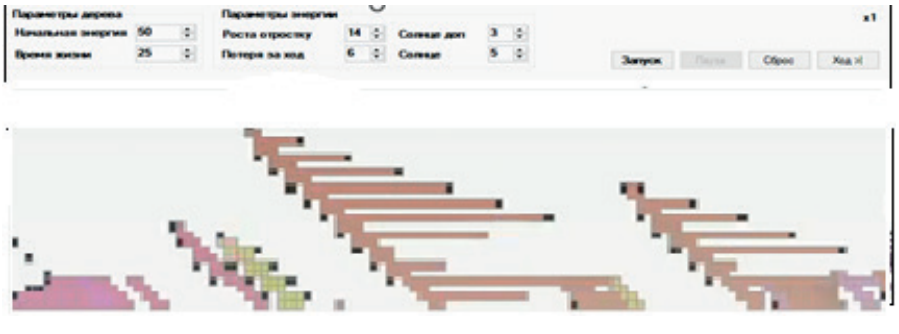


Рис. 3. Изобилие ресурсов

На рис.4 наблюдаем 3 вида, развивающихся параллельно. Так как их срок короток, не надо конкурировать за энергию. Виды в левой и правой части рисунка конкурируют за территорию разрастаясь в стороны, чтобы увеличить шансы попадания семян в почву. А вид в центре, где наибольшая плотность популяции, растет больше вверх, чтобы увеличить шанс на выживание

Рис. 4. Борьба за выживание

На рис.5 результат моделирования роста деревьев на протяжении 150 поколений. В процессе моделирования вносились поправки в параметры для отдельных видов

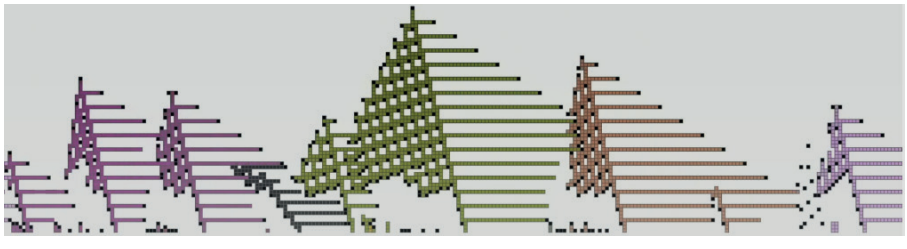


Рис.5. Результат выживания при динамическом варьировании параметров

Заключение

Результаты моделирования с использованием генетических алгоритмов показали полное соответствие полученных данных и законов эволюции в природе. Это подтверждает жизнеспособность концепции создания виртуального мира с элементами естественного отбора. Виртуальные деревья, созданные в рамках симуляции, продемонстрировали способность к изменению форм в ответ изменение условий окружающей среды.

По мере эволюции деревья начали занимать разные экологические ниши, что привело к возникновению различных видов с уникальными адаптациями. Изменения в параметрах среды, например, в градиентах энергии, способствуют формированию более высоких и конкурентоспособных форм деревьев. Это подтверждает теорию о том, что разнообразие форм жизни способствует устойчивости экосистем.

Библиографические ссылки

1. Nature Reviews Genetics: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nature.com (дата обращения: 10.01.2025)

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ECOSYSTEM SERVICES AND BIODIVERSITY

Z. Kunhao[1)], **P. K. Shalkevich**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, 23/1 Dolgobrodskaya str., Minsk, 220070, Belarus, p.k.shalkevich@gmail.com*

Climate change is a significant global challenge that profoundly impacts ecosystems by altering temperatures, precipitation, and extreme weather events, disrupting ecological balance, leading to species extinction, habitat loss, and degradation of ecosystem services, thereby threatening biodiversity and human survival. The paper also explores feedback mechanisms such as changes in the carbon cycle and the reduction of ecosystem services. Furthermore, strategies for adapting to and mitigating climate change, such as ecological restoration, green infrastructure, and policy interventions, are discussed. This paper provides an overview of current research and offers practical recommendations for ecosystem management and conservation in the context of climate change.

Keywords: climate change; ecosystems; biodiversity; mitigation.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Ж. Кунхао[1)], **П. К. Шалькевич**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, p.k.shalkevich@gmail.com*

Изменение климата является глобальной проблемой, которая оказывает сильное влияние на экосистемы путем изменения температур, количества осадков и характера экстремальных погодных явлений, нарушая экологический баланс, что приводит к вымиранию видов, потере среды обитания и деградации экосистемных услуг, тем самым угрожая биоразнообразию и выживанию человека. В статье рассматриваются механизмы обратной связи, такие как изменения в углеродном цикле и сокращение экосистемных услуг. Кроме того, обсуждаются стратегии адаптации и смягчения последствий изменения климата, такие как экологическое восстановление, зеленая инфраструктура и политические вмешательства. В статье представлен обзор текущих исследований и предлагаются практические рекомендации по управлению и сохранению экосистем в контексте изменения климата.

Ключевые слова: изменение климата; экосистемы; биоразнообразие; смягчение последствий.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-313-316

Introduction. Climate change has emerged as one of the most significant environmental challenges of the 21st century [1]. Driven primarily by anthropogenic activities such as deforestation, industrial emissions, burning of fossil fuels, global temperatures are rising at an unprecedented rate [2], leading to shifts in weather patterns and the intensification of extreme events like heatwaves, droughts, and storms. These changes are not only threatening human societies but also severely impacting ecosystems worldwide.

As climate change alters temperature, precipitation, and other key environmental variables, ecosystems are experiencing profound disruptions. The excessive deforestation of the Amazon rainforest has led to the intensification of global warming, while the discharge of industrial wastewater has caused pollution in the Yangtze River basin, among other environmental pollution phenomena.

Changes in species distribution, altered migration patterns, and shifts in ecosystem processes are becoming increasingly evident. The consequences of these changes are far-reaching, affecting not only the ecological balance but also the livelihoods of millions of people who depend on these ecosystems for food, water, and other resources.

For example, in the Sahel region of Africa, intensified droughts, grassland degradation, and crop failures have caused herders and farmers to lose their livelihoods, forcing many to migrate, leading to resource competition and social pressure [3].

The aim of this review is to explore the diverse impacts of climate change on ecosystems across the globe, focusing on terrestrial, aquatic, and agricultural systems. We will also discuss the feedback mechanisms within ecosystems that may exacerbate or mitigate climate change, as well as strategies for adaptation and mitigation.

Research Background. Climate change has put significant pressure on ecosystems. Small climate shifts disrupt species composition, migration, and lead to extinctions, affecting terrestrial ecosystems like forests, grasslands, and wetlands. Aquatic ecosystems, including coral reefs, face bleaching and biodiversity loss due to rising temperatures. Agricultural ecosystems also suffer, impacting crop yields and food security.

Feedback loops, such as the release of greenhouse gases from permafrost, worsen global warming, while disturbances threaten the carbon sink potential of forests and wetlands. Understanding these interactions is crucial for developing strategies to mitigate and adapt to climate change, preserving ecosystem stability and supporting biodiversity and human well-being.

The impact of weather on terrestrial ecosystems. The impact of climate change on terrestrial ecosystems is manifested in several key aspects. Firstly, rising temperatures compel species migration. Species such as polar bears and alpine organisms face habitat loss and other challenges due to their inability to migrate to cooler areas [4].

Secondly, changes in precipitation patterns intensify ecological stress. Droughts are becoming more frequent in the Mediterranean and certain tropical regions, leading to vegetation degradation and desertification, such as the grassland degradation in the Sahel region of Africa [5].

In South Asia and Southeast Asia, extreme rainfall and flooding disasters have damaged forest and agricultural ecosystems. For instance, severe flooding in India in submerged millions of hectares of farmland, resulting in crop failures, soil erosion, and damage to farmers' livelihoods, further exacerbating the local food security crisis [6].

In conclusion, climate change profoundly impacts the structure and function of terrestrial ecosystems through changes in temperature, precipitation, extreme weather events, and phenological shifts, threatening biodiversity and ecosystem services. Therefore, adopting effective adaptation and mitigation measures to protect ecosystem health has become an urgent global task in response to climate change.

The impact of weather on marine ecosystems. As global warming intensifies, ocean temperatures rise, leading to a decline in the number of algae and corals, resulting in widespread bleaching events [7]. At the same time, many marine species, such as fish and plankton, are migrating toward polar regions or deeper waters, disrupting existing food chains and ecological balances [8].

In addition, rising sea levels inundate coastal wetlands, mangroves, and salt marshes, disrupting the breeding and habitats of many marine species. The disappearance of low-lying islands and coral reefs directly leads to habitat loss. For example, the Maldives, one of the lowest-lying countries in the world, faces the threat of submersion due to rising sea levels and coral reef degradation, severely damaging the habitat environment for marine life [9].

In summary, climate change profoundly impacts the structure and function of marine ecosystems through various pathways, including temperature rise, ocean acidification, sea level rise, and extreme weather events, threatening biodiversity and global ecological security. Therefore, taking urgent measures to protect marine ecosystems and mitigate the effects of climate change has become a shared global responsibility.

The impact of weather on agroecosystems. The impact of climate change on agricultural ecosystems is profound and complex. Rising temperatures have altered crop growing cycles, leading to decreased crop yields in many regions, particularly for staple crops such as wheat, corn, and rice. For example, in Sub-Saharan Africa, food production has significantly decreased due to high temperatures and drought, threatening local food securityи [10].

Changes in precipitation patterns have intensified water resource pressure, with regions like the Mediterranean facing irrigation water shortages due to frequent droughts, while others, such as South Asia, experience extreme rainfall and flooding that damage farmland and soil structure [11].

The frequency and intensity of extreme weather events, such as heatwaves and storms, have increased, further threatening agricultural production. For instance, the heatwave in India in led to the destruction of thousands of hectares of crops [12]. Additionally, climate change has expanded the distribution of pests and diseases, with the frequency of locust outbreaks in East Africa and West Asia increasing, causing devastating damage to crops [13].

To address these challenges, promoting drought-resistant crops, improving irrigation techniques, and developing climate-smart agriculture have become urgent tasks. In conclusion, climate change profoundly impacts the stability and productivity of agricultural ecosystems through various pathways, including temperature, precipitation, extreme weather, and pests, threatening global food security.

Discussion on Solutions. The threats posed by climate change to terrestrial, marine, and agricultural ecosystems require comprehensive solutions.

For terrestrial ecosystems, resilience should be enhanced through ecological restoration (such as afforestation and wetland restoration) and biodiversity protection (such as the establishment of protected areas), while reducing deforestation and land degradation [14].

For marine ecosystems, marine protected areas should be established, coral reefs and mangroves should be restored, and overfishing and pollution should be reduced to mitigate the effects of ocean acidification and rising temperatures [15].

For agricultural ecosystems, climate-smart agriculture (such as drought-resistant crops and precision irrigation) and sustainable land management should be promoted, along with strengthening pest and disease monitoring and control [16].

Conclusion. The impact of climate change on ecosystems is profound and complex. As global temperatures rise, precipitation patterns change, and extreme weather events increase, ecosystems are facing unprecedented pressure. These changes not only affect the provision of ecosystem services, such as carbon absorption and water cycling, but also alter species distribution and food chain structures, further threatening global biodiversity. The feedback effects of climate change on ecosystems exacerbate environmental degradation, creating a vicious cycle.

However, by mitigating greenhouse gas emissions, strengthening ecosystem protection and restoration, and promoting species adaptation and migration, we can still effectively address these challenges. Future research should further explore the interactions between climate change and ecosystems, especially the specific impacts on different regions and types of ecosystems. Research should focus on the effects of climate change on extreme ecological environments and developing new adaptation strategies will be important directions for future research.

References

1. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures / K. Abbass [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29. P. 42539-42559. (journal article, 6 authors)

2. Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points/ D. I. Armstrong McKay [et al.] // Science. 2022. Vol. 377. Article eabn7950. (journal article, 6 authors)

3. *Ammari F., Benrezzouq N.* Conflictuality in the G5 Sahel region: The Role of Economic Factors and Regional Resilience. 2023. (research report, 2 authors)

4. *Conklin D.* Cracking the Code on Melting Glaciers. 2022. (research report, 1 author)

5. Analysis of spatiotemporal changes and driving factors of desertification in the Africa Sahel / Z. Yang [et al.] // Catena. 2022. Vol. 213. Article 106213. (journal article, 6 authors)

6. Soil degradation and mitigation in agricultural lands in the Indian Anthropocene / R. Bhattacharyya [et al.] // European Journal of Soil Science. 2023. Vol. 74. Article e13388. (journal article, 6 authors)

7. *Yogendra N., Ghosh A.* Rhodophytes (seaweed): a promising alternative source of potash fertilizer // Current Science. 2024. Vol. 127. (journal article, 2 authors)

8. *Lehel J., Murphy S.* Microplastics in the food chain: food safety and environmental aspects // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 2021. Vol. 259. P. 1-49. (journal article, 2 authors)

9. Coral reef biodiversity of the Maldives. In: Atolls of the Maldives. Nissology and Geography / P. Galli [et al.] // Rowman and Littlefield. Lanham, 2021. P. 196-212. (book chapter, 4 authors)

10. Reversing years for global food security: A review of the food security situation in Sub-Saharan Africa (SSA) / A. H. Wudil [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. Article 14836. (journal article, 6 authors)

11. Diversification from field to landscape to adapt Mediterranean rainfed agriculture to water scarcity in climate change context / J. Molénat [et al.] // Current Opinion in Environmental Sustainability. 2023. Vol. 65. Article 101336. (journal article, 6 authors)

12. Climate change and agricultural losses in India / R. K. Kulanthaivelu [et al.] // American Journal of Economics and Sociology. 2022. Vol. 81. P. 339-358. (journal article, 6 authors)

13. The impact of climate change on agricultural insect pests / S. Skendžić [et al.] // Insects. 2021. Vol. 12. Article 440. (journal article, 6 authors)

14. *Mishra R. K., Agarwal R.* Sustainable forest land management to restore degraded lands. 2024. (research report, 2 authors)

15. Ocean conservation boosts climate change mitigation and adaptation / J. Jacquemont [et al.] // One Earth. 2022. Vol. 5. P. 1126-1138. (journal article, 6 authors)

16. Climate-smart agriculture: an integrated approach for attaining agricultural sustainability. / Abhilash [et al.] // Climate Change and Resilient Food Systems: Issues, Challenges, and Way Forward. 2021. P. 141-189. (book chapter, 6 authors)

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДОВ ВОСХОДЯЩИХ И НИСХОДЯЩИХ СЕРИЙ, СЕКВЕНЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА, ЛОГАРИФМОВ ПРЕОБЛАДАНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

С. А. Лаптёнок[1)], О. И. Родькин[1)], А. А. Кологривко[2)], Е. П. Борботко[1)], И. В. Лазар[3)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru*
[2)] *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, , г. Минск, Беларусь*
[3)] *Белорусский государственный медицинский колледж, ул. Кижеватова,60/2, 220024, г. Минск, Беларусь*

Представлена методика комплексного подхода к использованию методов восходящих и нисходящих серий, секвенциального анализа, логарифмов преобладания и приращения информации в целях повышения эффективность ранней диагностики и прогнозирования динамики медико-биологических процессов.

Ключевые слова: прогнозирование медико-биологических процессов; метод восходящих и нисходящих серий; секвенциальный анализ; логарифмы преобладания; приращение информации; комплексный подход.

INTEGRATED APPROACH TO THE USE OF ASCENDING AND DESCENDING SERIES METHODS, SEQUENTIAL ANALYSIS, LOGARITHMS OF PREVALENCE AND INCREMENT OF INFORMATION FOR STATISTICAL PROCESSING OF MEDICAL AND BIOLOGICAL DATA

S. A. Laptyonok[1)], O. I. Rodzkin[1)], A. A. Kologrivko[2)], E. P. Borbotko[1)], I. V. Lazar[3)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru*
[2)] *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus*
[3)] *Belarusian State Medical College, Kizhevatova str, 60/2, 220024, Minsk, Belarus*

The article presents a methodology for an integrated approach to the use of methods of ascending and descending series, sequential analysis, logarithms of prevalence and increment of information in order to improve the efficiency of early diagnostics and forecasting of medical and biological processes.

Keywords: forecasting of medical and biological processes; ascending and descending series methods; sequential analysis; logarithms of prevalence; information increment; integrated approach.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-317-321

Вероятностная природа результатов научных и клинических наблюдений, их многоаспектность и взаимосвязанность являются объективной предпосылкой комплексного подхода к применению методов математической статистики в научных медицинских исследованиях.

Комплексный подход к статистической обработке медико-биологических данных должен означать, что для получения наиболее полной и достоверной информации на основе имеющихся массивов необходимо использование комплекса статистических методов, взаимно дополняющих друг друга. Адекватно характеру имеющихся данных и цели анализа комплексный подход подразумевает применение методов в трех вариантах: изолированно, в различных сочетаниях или всего комплекса в целом.

По результатам применения представляемых методов изолированно и в различных комбинациях получена следующая информация.

Изолированное применение метода восходящих и нисходящих серий [1] целесообразно и необходимо при подготовке любых данных к любой статистической обработке. Если речь идет о случайной выборке, оценка статистической подконтрольности фактически является оценкой ее однородности. При наличии других непараметрических критериев однородности метод восходящих и нисходящих серий имеет преимущество ввиду абсолютной простоты необходимых вычислений. При табулировании значений математического ожидания числа серий вычисления вообще не требуются. При оценке статистической подконтрольности динамических процессов метод восходящих и нисходящих серий дает возможность обнаружить скрытые постоянно действующие факторы, которые, не будучи учтенными, могут значительно изменить результат изучаемого процесса в сравнении с ожидаемым. Данный метод также позволяет определить момент времени и характер воздействия этих факторов на течение исследуемого процесса. Таким образом можно на ранних стадиях избежать ошибочных представлений о развитии явления.

Изолированное применение метода секвенциального анализа [2] может быть эффективным при изучении динамических процессов, когда традиционные статистические критерии не в состоянии достоверно свидетельствовать о принятии или непринятии нулевой гипотезы без увеличения объема выборки. Секвенциальный критерий дает возможность значительно сократить количество исследований (опытов) и время на их проведение, что при выявлении изменений в состоянии функциональных систем организма имеет приоритетное значение. Таким образом при неясной динамике выявляется статистически достоверная тенденция и формируется первоначальный прогноз развития процесса.

Метод логарифмов преобладания [3] при изолированном применении является эффективным средством количественной оценки значимости факторов при комбинированном воздействии. Преимуществом метода является его способность работать с нечисловыми данными, когда дисперсионная и регрессионная модели неприменимы. Метод определяет, насколько тот или иной фактор сильнее влияет на формирование исследуемого процесса по сравнению с остальными. Причем учитываются не только первоначальные изолированные факторы и их категории (градации), но и комбинированные, появившиеся в результате взаимодействия изолированных.

При использовании метода логарифмов преобладания для оценки насыщенных моделей целесообразно проводить исследования в порядке уменьшения размерности таблиц сопряженности. Из таблицы большей размерности выбираются наиболее значимо влияющие на процесс факторы и их оценка уточняется на модели меньшей размерности.

Если метод логарифмов преобладания позволяет получить числовую оценку преобладания влияния одного фактора относительно других, то метод расчета приращения информации [4] дает возможность рассмотреть многофакторные воздействия с другой стороны. Посредством данного метода определяется приращение информации в битах о влиянии того или иного фактора на формирование процесса, то есть уже не в относительном, а в абсолютном масштабе, что является шагом к определению абсолютных рисков. Кроме того, по уровню приращения информации по всей модели определяется абсолютная значимость совокупного влияния всех факторов на формирование процесса.

Комбинированное применение перечисленных статистических методов открывает более широкие возможности получения достоверных оценок при анализе медико-биологических данных различного характера.

Рассмотрим пример комбинированного использования метода секвенциального анализа и метода восходящих и нисходящих серий в работе практического врача.

Пациент находился в терапевтическом отделении с диагнозом пневмония. После стабилизации температуры тела пациента на уровне, близком к нормальному, в течение 11 дней триж-

ды в сутки проводились ее измерения с целью контроля состояния больного. В результате был получен следующий ряд значений:

36,5	36,7	37,3	36,9	36,7	36,9	37,2	36,9	36,8	36,8
37,0	37,4	36,7	36,8	36,7	36,2	36,0	36,3	36,6	36,2
36,4	36,6	36,7	36,9	37,0	37,2	36,7	36,6	36,3	36,7
36,8									

Температурная кривая пациента (рис. 1) характеризуется неявной динамикой несмотря на то, что большинство значений находятся в пределах физиологической нормы. Поскольку значимым в данном случае является отклонение температуры от нормы в сторону увеличения, целесообразно использование одностороннего секвенциального критерия.

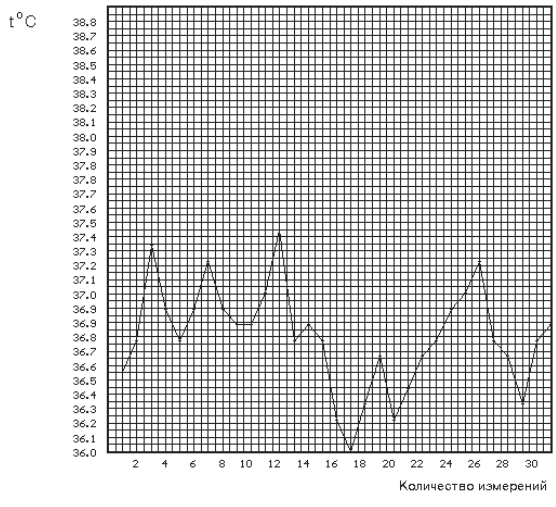


Рис. 1. Индивидуальная динамика абсолютных значений измеренной температуры пациента.

В результате применения одностороннего секвенциального критерия [ ] с μ0=37.0 и μ1=37.3 (рис. 2) можно заключить, что динамика температуры тела пациента в течение 11 дней в целом имеет достоверную тенденцию к снижению, что может свидетельствовать об улучшении его общего состояния.

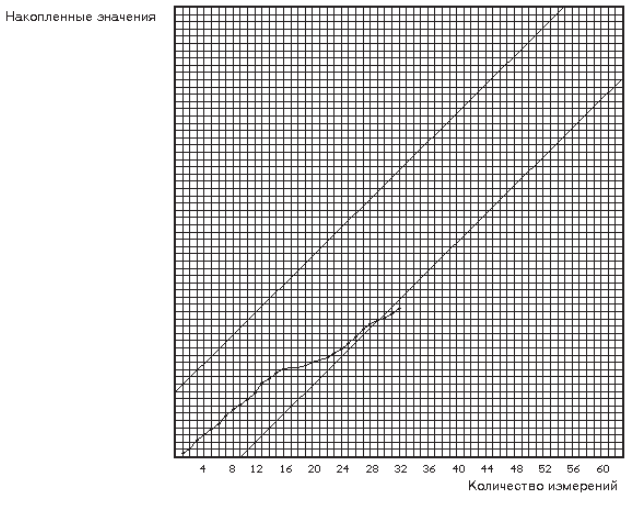


Рис. 2. Результат применения одностороннего секвенциального критерия к анализу индивидуальной динамики температуры тела пациента

Поскольку период в 11 дней является достаточно длительным, целесообразным представляется использование метода восходящих и нисходящих серий для уточнения информации о процессе.

Таким образом, в температурной кривой общее число серий (13) меньше математического ожидания (19.67) и имеется длинная восходящая серия (длиной 6), появление которой обусловлено, очевидно, некоторыми привнесенными причинами. Этими причинами, в частности, могли явиться активизация патогенной флоры и (или) снижение иммунной защиты, могущие привести к рецидиву заболевания.

Оценка индивидуальной динамики температуры тела выздоравливающего пациента методом секвенциального анализа (интегральная оценка) выявила тенденцию общего ее снижения. В то же время дифференциальная оценка (методом восходящих и нисходящих серий) показала статистическую неподконтрольность процесса. Длинные восходящие серии свидетельствует о наличии причин, вызывающих прирост температуры в течение двух суток и, следовательно, о возможности рецидива заболевания.

Комплексное использование метода логарифмов преобладания и метода приращения информации расширяет возможности анализа процессов, формирование и течение которых обусловлено влиянием нескольких факторов, позволяет уточнить вес каждого фактора и определить степень случайности возникновения данных процессов.

В комплексном подходе к оценке медико-биологических процессов методы логарифмов преобладания и расчета приращения информации играют роль инструмента для определения степени случайности процесса и выделения факторов, наиболее значимо влияющих на процесс. Методы восходящих и нисходящих серий и секвенциального анализа являются средством оценки степени статистической подконтрольности процесса и выявления на ранних стадиях достоверных тенденций его развития. Реализация такого алгоритма делает возможным формирование прогнозов развития медико-биологических процессов уже на ранней стадии их развития.

Наиболее обоснованным и целесообразным является комплексное применение данных методов [5; 6] для получения более достоверной информации.

Результаты проведенных исследований показали эффективность методов восходящих и нисходящих серий, секвенциального анализа, логарифмов преобладания и приращения информации и целесообразность их использования в медико-биологических и экологических исследованиях. Это позволило составить алгоритм комплексного подхода к их применению, заключающийся в следующем.

1. При изолированном применении:

– метод восходящих и нисходящих серий эффективен для оценки статистической подконтрольности (степени случайности) статических и динамических выборок;

– метод секвенциального анализа эффективен для выявления достоверных тенденций развития процессов с неясной динамикой;

– метод логарифмов преобладания эффективен для количественной оценки относительной, а метод приращения информации – для абсолютной значимости факторов при комбинированном воздействии.

2. При комбинированном применении:

– метод восходящих и нисходящих серий и метод секвенциального анализа взаимно дополняют и уточняют друг друга при изучении явлений и процессов с неясной динамикой, выявлении факторов, скрыто влияющих на развитие изучаемого процесса и подведении его под контроль;

– методы логарифмов преобладания и приращения информации взаимно дополняют друг друга в процессе оценки значимости факторов при изучении комбинированных воздействий.

3. При комплексном применении:

– методы логарифмов преобладания и приращения информации эффективны для выявления и уточнения факторов, наиболее значимо влияющих на динамику изучаемых показате-

лей, метод восходящих и нисходящих серий – для выявления скрытых факторов, влияющих на динамику этих показателей, а метод секвенциального анализа – для выявления достоверных тенденций развития.

Таким образом, при условии обоснованного комплексного использования методов восходящих и нисходящих серий, секвенциального анализа, логарифмов преобладания и приращения информации может быть проведена оценка статистической подконтрольности изучаемых процессов, установлены достоверные тенденции их развития, определена относительная и абсолютная значимость влияния на данные процессы изолированных и комбинированных факторов при сочетанных воздействиях и построен статистически достоверный прогноз. Следовательно, данный комплекс методов может быть эффективно использован как в целях обработки и оценки данных, полученных при исследовании негативных последствий аварий и катастроф различного характера с целью их предотвращения в перспективе, так и непосредственно в условиях чрезвычайных ситуаций для их обнаружения на ранней стадии развития и минимизации последствий.

Представленный в данной работе комплексный подход к статистической обработке медико-биологической и экологической информации является одной из составных частей системного подхода к изучению сложных биологических объектов и систем. Организм человека в целом, его отдельные системы жизнеобеспечения также могут быть представлены в качестве таких объектов.

Библиографические ссылки

1. *Хальд А.* Математическая статистика с техническими приложениями. М. : Издательство иностранной литературы. 1956.
2. *Вальд А.* Последовательный анализ. М. : Физматгиз. 1960.
3. Goodman L.A. Analysing qualitative/categorial data. Loglinear models and latent-structure analysis. L. : Addison-Wesley Publ. Co. 1978.
4. Е. С. Вентцель Теория вероятностей. Москва : Государственное издательство физико-математической литературы. 1962.
5. *Бубнов В. П., Дорожко С. В., Лаптенок С. А.* Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск : БНТУ. 2009.
6. *Лаптёнок С. А.* Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск : БНТУ. 2013.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

С. А. Лаптёнок[1)], О. И. Родькин[1)], А. А. Кологривко[2)], Д. И. Радюк[1)], М. С. Конопацкая[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru*
[2)] *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, , г. Минск, Беларусь*

Представлены результаты оценки адекватности и эффективности моделирования и достоверности прогнозирования эпидемических процессов на основе показателей среднегодового и среднегеометрического прироста интенсивных показателей заболеваемости и с использованием преобразования данных в системе гиперболических функций.

Ключевые слова: эпидемический процесс; интенсивные показатели; адекватность моделирования; достоверность прогноза; среднегодовой прирост; среднегеометрический прирост; гиперболические функции.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MODELING AND FORECASTING THE DYNAMICS OF ECOLOGICAL AND EPIDEMIC PROCESSES USING DIFFERENT METHODS

S. A. Laptyonok[1)], O. I. Rodzkin[1)], A. A. Kologrivko[2)], D. I. Radyuk[1)], M. S. Konopatskaya[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru*
[2)] *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus,*

The results of the assessment of the adequacy and effectiveness of modeling and the reliability of forecasting epidemic processes based on the indicators of the average annual and geometric mean increase in intensive morbidity rates and using data transformation in a system of hyperbolic functions are presented.

Keywords: epidemic process; intensive indicators; adequacy of modeling; reliability of forecast; average annual growth; geometric mean growth; hyperbolic functions.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-322-326

Заболеваемость злокачественными новообразованиями – одна из наиболее актуальных проблем, вызывающих обеспокоенность при радиационных авариях. По результатам ряда наблюдений за состоянием здоровья населения, подвергшегося воздействию ионизирующих излучений в результате применения ядерного оружия и ядерных аварий, одним из наиболее очевидных отдаленных эффектов облучения является рост заболеваемости злокачественными новообразованиями различной локализации [1]. В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиационному воздействию подверглась значительная часть населения Беларуси. В связи с этим с момента катастрофы в республике проводился эпиде-

миологический мониторинг онкологической заболеваемости по данным Белорусского канцер-регистра и Государственного регистра лиц, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС. Оценка результатов такого масштабного исследования невозможна без применения адекватных и эффективных методов математического анализа. Использование таких методов наряду с традиционными, стандартными методиками позволит получить дополнительную информацию для установления тенденций развития процессов и формирования обоснованных прогнозов.

На основании данных, представленных в работе [1], с применением методик, описанных в работах [1-4], в 2010 году авторами работы [5] был сформирован прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости населения Республики Беларусь раком щитовидной железы до 2020 г. Целью данного исследования явился анализ результатов моделирования и прогнозирования данного процесса с использованием данных Белорусского канцер-регистра, в частности, оценка эффективности применения гиперболических функций для анализа динамики и формирования прогноза развития реальных процессов. В качестве объекта исследования была выбрана динамика интенсивных показателей заболеваемости раком щитовидной железы, почки и молочной железы в Республике Беларусь за период с 1991 по 2023 годы.

Осуществлены пролонгация до 2030 года и сравнение прогнозов интенсивных показателей заболеваемости раком щитовидной железы, почки и молочной железы в Республике Беларусь [1; 5] с реальной динамикой, полученной из официальных источников. Результаты исследований представлены на рисунках 1-3.

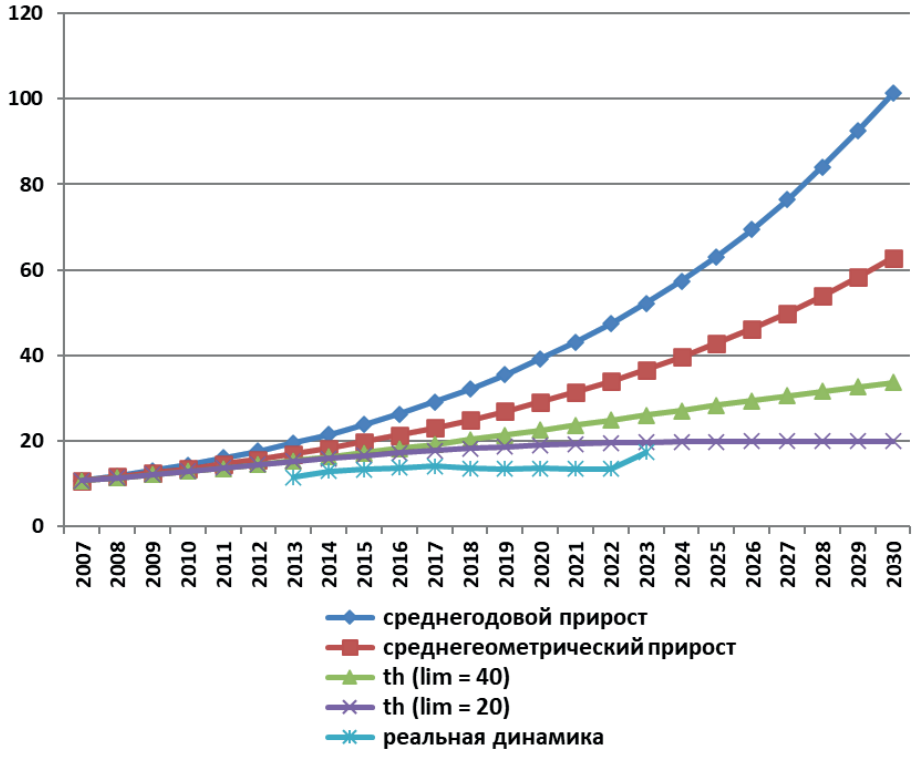


Рис. 1. Прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости раком щитовидной железы в Республике Беларусь (на 100 тысяч населения)

Как видно из рисунка 1, прогноз уровня заболеваемости раком щитовидной железы, полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем (априорным уровнем насыщения) 20 случаев на 100000 населения (th (lim=20), начальный уровень – 10,7 на 100000 населе-

ния), является наиболее адекватным и хорошо согласуется с наблюденными данными в период с 2013 по 2023 гг. Кривые, построенные по результатам прогнозирования на основе среднегодового и среднегеометрического прироста, указывают на тенденцию к гиперболическому росту (см. рис. 6), что противоречит логике процесса. Кривая, представляющая прогноз, полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем 40 случаев на 100000 населения (th (lim=40)) демонстрирует умеренный рост, весьма близкий к линейному, с намечающейся тенденцией к насыщению.

Сопоставление результатов на рисунке 1 позволяет заключить, что прогноз, полученный с использованием метода преобразования данных в системе гиперболического тангенса, более реален. Кроме того, «осторожные» прогнозные данные позволяют повысить надежность подбора аппроксимирующих функций.

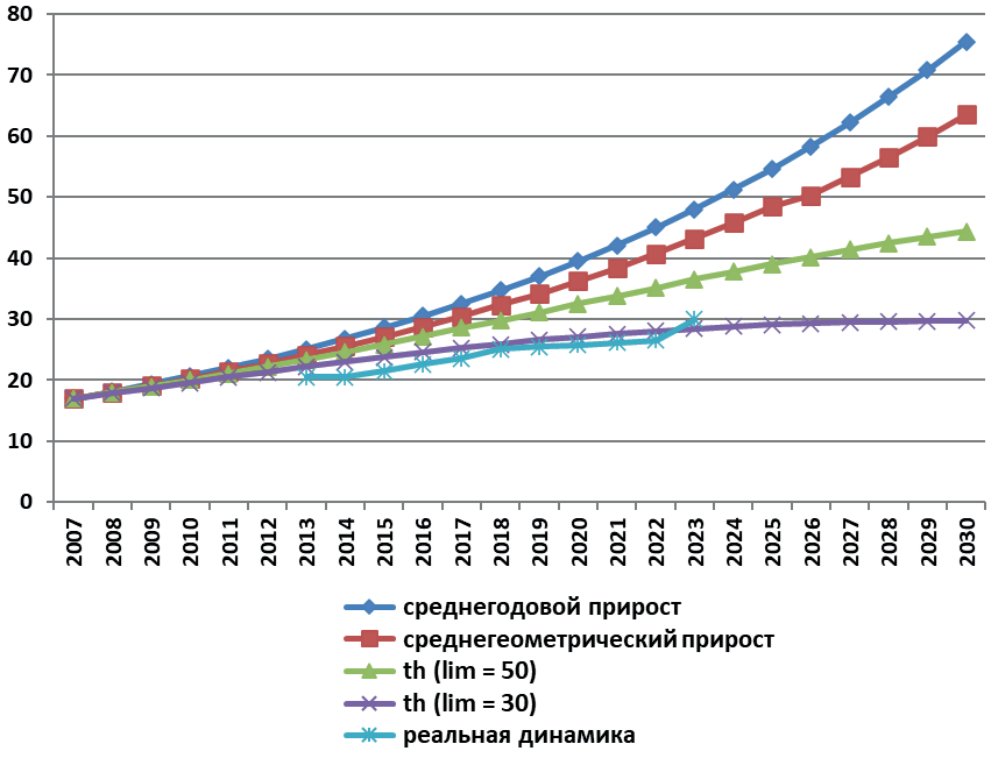


Рис. 2. Прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости раком почки в Республике Беларусь (на 100 тысяч населения)

Прогноз уровня заболеваемости раком почки (см рис. 2), полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем 30 случаев на 100000 населения (th (lim=30), начальный уровень – 17,0 на 100000 населения), также является наиболее адекватным и практически совпадает с наблюденными данными в период с 2013 по 2023 гг. Тенденцией к гиперболическому росту характеризуются также кривые, построенные по результатам прогнозирования на основе среднегодового и среднегеометрического прироста (см. рис. 2). Кривая, представляющая прогноз, полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем 50 случаев на 100000 населения (th (lim=50)), как и в предыдущем случае, характеризуется близким к линейному умеренным ростом с намечающейся тенденцией к насыщению.

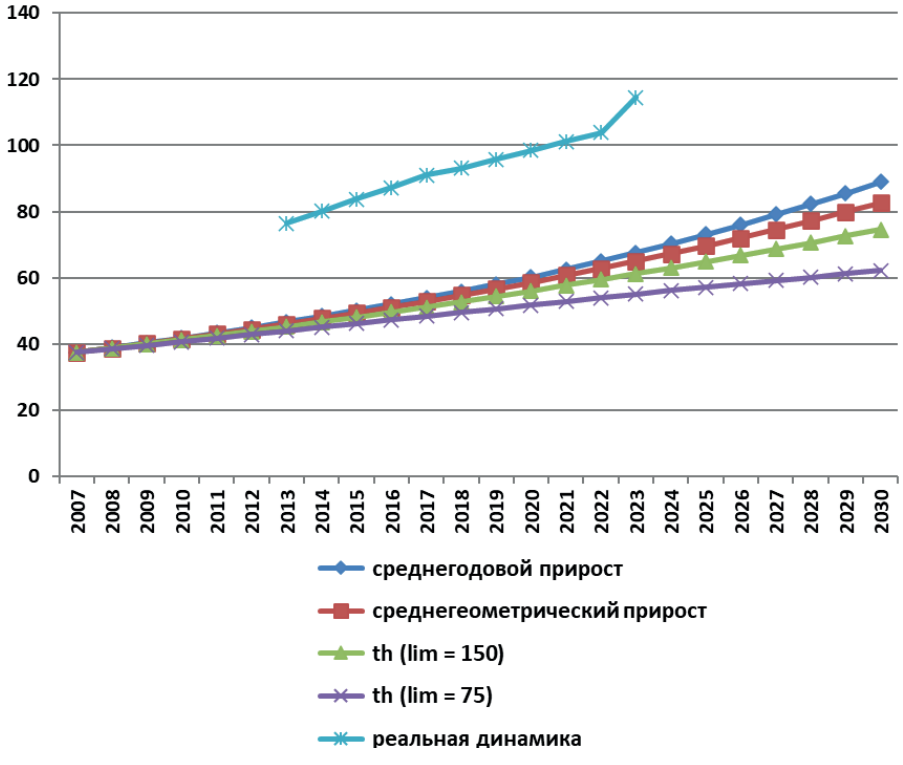


Рис. 3. Прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости раком молочной железы в Республике Беларусь (на 100 тысяч женского населения)

Прогнозы уровня заболеваемости раком молочной железы (см. рис. 3), полученные в результате использования всех представленных методов, продемонстрировали критическое отличие от реальной динамики эпидемического процесса. Очевидно, что в период с 2007 по 2013 гг. имело место воздействие некоторых значимых факторов, вызвавших резкий скачок уровня прироста показателя.

В целях улучшения характеристик модели и повышения адекватности прогноза уровня заболеваемости раком молочной железы осуществлялся сравнительный анализ прогнозов при различных априорных финальных уровнях показателя с реальной динамикой. В ходе исследования получены следующие результаты.

При использовании метода преобразования данных в системе гиперболических функций увеличение значения априорного финального уровня модели приводило к некоторому увеличению значений прогнозируемого показателя только в интервалах th (lim=40) – th (lim=50) (40 – 50 случаев на 100000 женского населения), th (lim=50) – th (lim=75) (50 – 75 на 100000), (lim=75) – th (lim=100) (75 – 100 на 100000), th (lim=100) – th (lim=150) (100 – 150 на 100000) и th (lim=150) – th (lim=200) (150 – 200 на 100000). При дальнейшем увеличении значения априорного финального уровня модели – th (lim=200) – th (lim=300) (200 – 300 на 100000), th (lim=300) – th (lim=400) (300 – 400 на 100000), th (lim=400) – th (lim=500) (400 – 500 на 100000) и th (lim=500) – th (lim=1000) (500 – 1000 на 100000) – увеличение значений прогнозируемого показателя не наблюдалось. Имели место флуктуации значений на достигнутом уровне, т.е., определенном уровне насыщения.

Очевидно, что для повышения адекватности и эффективности данной модели необходима модификация ее параметров и расширение исходных данных.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При моделировании и прогнозировании динамики интенсивного показателя заболеваемости населения республики Беларусь раком щитовидной железы наиболее адекватным и эффективным проявил себя метод, использующий преобразование данных в системе гипер-

болических функций. Полученный прогноз хорошо согласуется с наблюденными данными реальной динамики процесса в период с 2013 по 2023 гг.

2. Наиболее адекватным и эффективным проявил себя данный метод также при моделировании и прогнозировании динамики интенсивного показателя заболеваемости населения республики Беларусь раком почки. Полученный прогноз практически совпадает с наблюденными данными реальной динамики процесса в период с 2013 по 2023 гг.

3. При моделировании и прогнозировании динамики интенсивного показателя заболеваемости женского населения республики Беларусь раком молочной железы ни один из рассмотренных методов не позволил получить адекватный прогноз: результаты прогнозирования во всех случаях критически отличались от реальной динамики показателя. Модификации модели применения метода преобразования данных в системе гиперболических функций путем корректировки априорных предельных уровней не дали желаемого эффекта.

4. Для получения более адекватной динамической модели и достоверного прогноза уровня заболеваемости женского населения раком молочной железы целесообразным представляется использовать данные за более длительный период, а также оценить эффективность применения иных методов динамического моделирования и прогнозирования.

Библиографические ссылки

1. *Антипова С. И., Шебеко Н. Г.* Заболеваемость злокачественными новообразованиями в регионах Беларуси через 22 года после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 2009. № 1-2. С. 3–10.

2. *Шерватов В. Г.* Гиперболические функции // Популярные лекции по математике, выпуск 16. / М.: Гостехиздат. 1954.

3. *Яннольский А. Р.* Гиперболические функции. М.: Рипол Классик. 1960.

4. *Арсюткин Н. В.* Материалоемкость и ресурсосбережение в национальной экономике (Республика Беларусь) : Научное издание. Мн.: Право и экономика. 2006.

5. *Арсюткин Н. В., Лаптёнок С. А., Лазар И. В.* Анализ и прогноз динамики процессов с использованием свойств гиперболических функций // Медико-биологические аспекты аварии на ЧАЭС. 2010. № 1-2. С. 34–37.

6. Оценка эффективности метода преобразования данных в системе гиперболических функций для изучения динамики процессов / Лаптёнок С.А. [и др.] // Научные вести. № 10. 2024. С. 50–61.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

С. А. Лаптёнок[1)], О. И. Родькин[1)], А. А. Кологривко[2)], Е. В. Федоренчик[1)], Ю. В. Кляусова[2)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru*

[2)] *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, , г. Минск, Беларусь*

Описан метод динамического пространственного моделирования с использованием технологий географических информационных систем отдельных геоэкологических факторов в целях повышения эффективности анализа эпидемиологических рисков. Представлены пространственные модели взаимодействия природных и антропогенных геоэкологических факторов на основе пространственной категоризации населенных пунктов и объектов на территории Республики Беларусь, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: пространственное моделирование; геоэкологические факторы; пространственная категоризация; эпидемиологические риски.

DYNAMIC SPATIAL MODELING OF THE INFLUENCE OF INDIVIDUAL GEOECOLOGICAL FACTORS ON THE FORMATION OF CONSEQUENCES OF MAN-MADE EMERGENCIES

S. A. Laptyonok[1)], O. I. Rodzkin[1)], A. A. Kologrivko[2)], E. M. Fedorenchik[1)], Y. V. Kliausava[2)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru*

[2)] *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus,*

The paper describes the method of dynamic spatial modeling using geographic information systems technologies of selected geo-ecological factors in order to increase the efficiency of epidemiological risk analysis. Spatial models of interaction between natural and anthropogenic geoecological factors are presented based on spatial categorization of settlements and facilities in the territory of the Republic of Belarus located in territories contaminated with radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant.

Keywords: spatial modeling; geoecological factors; spatial categorization; epidemiological risks.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-327-331

Заболеваемость злокачественными новообразованиями является одной из наиболее острых проблем, возникающих в результате загрязнения территории радионуклидами. Исследования в данной области уже длительное время остаются актуальными во всем мире.

В частности, в ходе наблюдения за состоянием здоровья лиц, подвергшихся воздействию поражающих факторов ядерной бомбардировки в Японии, было установлено, что в данной группе имел место достоверный рост заболеваемости злокачественными новообразованиями различной локализации: лейкозов – через 5 лет после бомбардировки, новообразований щитовидной железы – через 10, молочной железы и легких – через 20, желудка, ободочной кишки и миелом – через 30 лет [1].

Очевидно, что эффекты облучения ионизирующими излучениями являются только одним из ряда факторов, вызывающих рост заболеваемости злокачественными новообразованиями. В литературных источниках имеется информация о влиянии на данный процесс комплекса геофизических факторов, действующих в зонах расположения линеаментов – разломов земной коры [2; 3; 7; 8].

Материалы исследований последних десятилетий свидетельствуют о том, что в земной коре континентального типа повсеместно наблюдается густая, построенная по решетчатому типу сеть субвертикальных разломов, дробящих земную кору на многочисленные блоки, размеры которых измеряются километрами или десятками километров.Наиболее отчетливо на космических снимках выражены линеаменты, сопоставляемые с разломами, образованные в условиях растяжения земной коры шириной от 10 до 50 километров [2; 8]. Повышенной трещиноватостью и проницаемостью коры, мобильностью проявления геодинамических процессов отличаются участки пересечения линеаментов.

Установлено, что зоны разломов земной коры оказывают большое влияние на жизнедеятельность человека. Количество аварий на автодорогах выше в тех местах, где трассу пересекают системы разломов (геопатогенные зоны), а процент онкологических заболеваний оказался большим у людей, проживающих в населенных пунктах, расположенных вблизи суперрегиональных разрывных нарушений. Ураганы и смерчи прошлых лет были направлены преимущественно вдоль новейших геодинамических зон земной коры и аномалий магнитного и гравитационного полей Земли [3].

На основе информации, представленной, в частности, источниками [1-3], была сформулирована цель настоящего исследования: оценить влияния природных и связанных с ними антропогенных факторов, действующих в зонах разломов земной коры, на различные аспекты жизнедеятельности человека.

Поскольку такое влияние априори является многофакторным, а информация о действии ряда факторов часто носит не точный количественный, а категорийно-качественный характер («есть – нет», «нет – мало – много», «слабый – умеренный – выраженный» и т.п.), для его оценки требуется использование соответствующих методов, позволяющих получить количественную оценку значимости влияния факторов, действие которых оценивается в качественном виде. К такого рода методам можно отнести методы оценки корреляции сопряженных признаков, используемые для обработки категоризованных данных: метод логарифмов преобладания [4; 6] и метод приращения информации [5; 6]. Очевидно, что для эффективной работы с подобными методами безусловно необходимо адекватное разделение исследуемых объектов на соответствующие категории (категоризация данных). Т.к. информация в данном случае носит пространственный характер, то и деление объектов на категории должно производиться в соответствии с их пространственными свойствами – атрибутами. Для такого процесса целесообразным представляется применение технологии географических информационных систем, реализующей широкий спектр функций обработки пространственно распределенных данных.

Объектом исследования являлся фрагмент поверхности Земли, ограниченный территорией Воложинского и Столбцовского районов Минской области Республики Беларусь. Для создания и анализа растровых и векторных пространственных моделей использовались стандартные средства вычислительной техники и программный комплекс ArcView GIS 3.2a с Модулями расширения ImageWarp и РАСТР Профи. Топографической основой для моделирования служили карты местности масштаба 1 : 100 000 1986 г. издания (листы N-35-65, N-35-66, N-35-67, N-35-77, N-35-78, N-35-79, N-35-89, N-35-90, N-35-91), карта загрязнения территории РБ ^{137}Cs по состоянию на 1995 год масштаба 1 : 1 000 000 и карта-схема линеаментов и кольцевых структур Беларуси по данным космических съемок [2].

Ранее в ходе исследований был установлен ряд населенных пунктов, находящихся в зоне энергетической активности литосферы, расположенной на территории Воложинского

и Столбцовского районов Минской области (так называемой Ивенецко-Першайской зоны) [3]. В частности, установлено, что непосредственно в зонах над разломами земной коры расположены 22 населенных пункта, в зоне между разломами – 30 населенных пунктов, в том числе 21 – на территории, загрязненной радионуклидами ^{137}Cs, в качестве контрольных были отобраны 15 населенных пунктов, расположенных вне зон, находящихся над разломами и между ними. Учитывая, что на территории Воложинского района расположены свыше 400 населенных пунктов, а Столбцовского – свыше 250, точность оценки можно значительно повысить путем расширения списка исследуемых населенных пунктов в целях получения дополнительной информации.

Данная задача решалась с использованием инструментальных средств среды ArcView GIS и модулей РАСТР Профи и ImageWarp. Средствами ArcView GIS было проведено геокодирование административных границ Воложинского и Столбцовского районов и населенных пунктов, расположенных на территории этих районов, на топографической основе карты масштаба 1 : 100 000. Затем инструментальными средствами модулей РАСТР Профи и ImageWarp были осуществлены преобразование масштабов и привязка растровых и векторных тематических слоёв (векторные слои административных границ и населенных пунктов, растровые изображения карты-схемы линеаментов РБ и карты загрязнения территории РБ ^{137}Cs) для построения комбинированной пространственной модели, в ходе которой установлены следующие факты.

1. Расположение и направление разломов, над которыми расположены установленные ранее населенные пункты практически полностью соответствуют расположению и направлению фрагмента Балтийско-Украинского супперрегионального линеамента [2].

2. Территория, загрязненная радионуклидами ^{137}Cs, соответствует территории, ограниченной разломами.

3. Атрибутивная пространственная информация о населенных пунктах, расположенных как внутри изучаемой зоны (загрязненной радионуклидами ^{137}Cs и «чистой»), так и вне ее, соответствует ранее полученным данным.

4. Территория Воложинского и Столбцовского районов, загрязненная радионуклидами ^{137}Cs, расположена точно над фрагментом Балтийско-Украинского супперрегионального линеамента.

С учетом полученной информации средствами ArcView GIS была проведена экстраполяция уже имеющихся данных на всю территорию Воложинского и Столбцовского районов с целью формирования тематических слоев данных, включающих все населенные пункты в этих районах, относящихся к определенным ранее категориям.

Результаты данного исследования послужили основой для дальнейшей работы по оценке воздействия геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, на формирование геоэкологической обстановки.

С использованием описанной методики, материалов (карты мастштаба 1 : 100 000, карта-схема линеаментов и кольцевых структур) и программного обеспечения (ArcView 3.2a, ImageWarp, РАСТР Профи) было осуществлено геокодирование с последующим совмещением масштабов населенных пунктов, входящих в «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь №132 от 01.02.2010 г. При этом для Витебской, Гродненской и Минской областей осуществлялось геокодирование всех населенных пунктов, входящих в перечень (все расположены в зоне проживания с периодическим радиационным контролем, кроме деревни Тихоновщина Воложинского района Минской области), для Брестской, Гомельской и Могилевской – всех населенных пунктов, расположенных в зоне последующего отселения, зоне с правом на отселение и части населенных пунктов, расположенных в зоне проживания с периодическим радиационным контролем.

При анализе полученной комбинированной пространственной модели очевидно прослеживается тенденция к концентрации населенных пунктов, включенных в «Перечень…», вблизи ряда линеаментов и кольцевых структур. В Витебской, Гродненской и Минской областях это характерно для всех населенных пунктов. При этом единственный населенный пункт в Витебской области, включенный в «Перечень…», расположен в непосредственной близости от пересечения двух линеаментов.

В Брестской, Гомельской и Могилевской областях данная тенденция для населенных пунктов, расположенных в зоне проживания с периодическим радиационным контролем менее очевидна, так как загрязнению подверглись значительно большие площади. Тем не менее, она проявляется для населенных пунктов, расположенных в зоне с правом на отселение и зоне последующего отселения.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 9 от 11.01.2016 г. утвержден новый «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения». В 2021 году в данный документ внесены изменения, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 75 от 8.02.2021 г. В таблице представлены данные, отражающие динамику изменения количества населенных пунктов Республики Беларусь, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения в соответствии с официальной информацией.

Динамика количества населенных пунктов Республики Беларусь, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения

Область	Год	Зона с периодическим радиационным контролем	Зона с правом на отселение	Зона последующего отселения
Брестская	2010	114	5	-
	2016	99	5	-
	2021	92	-	-
Витебская	2010	1	-	-
	2016	-	-	-
	2021	-	-	-
Гомельская	2010	950	352	13
	2016	951	254	11
	2021	945	200	3
Гродненская	2010	106	-	-
	2016	84	-	-
	2021	66	-	-
Минская	2010	117	1	-
	2016	90	1	-
	2021	69	-	-
Могилевская	2010	616	122	5
	2016	603	92	3
	2021	599	70	2

С использованием описанной выше методики на основании данных «Перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 9 от 10.01.2016 г. и «Перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 75 от 08.02.2021 г., построены

комбинированные пространственные модели, в которых для Витебской, Гродненской и Минской областей осуществлялось геокодирование всех населенных пунктов, входящих в перечень (все расположены в зоне проживания с периодическим радиационным контролем, кроме деревни Тихоновщина Воложинского района Минской области), для Брестской, Гомельской и Могилевской – всех населенных пунктов, расположенных в зоне последующего отселения и зоне с правом на отселение (населенные пункты, расположенные в зоне проживания с периодическим радиационным контролем, были исключены из модели в целях определенного повышения качества восприятия).

Анализ данной динамической пространственной модели позволяет заключить, что при незначительном сокращении количества населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами ^{137}Cs, тенденция их концентрации вблизи линеаментов и кольцевых структур литосферы сохраняется.

Следует заметить, что не все линеаменты и кольцевые структуры отмечены зонами загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs. Причины данного явления могут быть установлены в ходе дополнительных исследований состояния и геофизических характеристик разломов.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что использование метода пространственно-атрибутивной категоризации данных с использованием средств программного обеспечения, реализующего технологии географических информационных систем, позволяет получить новую информацию об объекте исследования. Полученная дополнительная информация обеспечит повышение адекватности и эффективности моделирования и достоверности оценок при анализе моделей.

Библиографические ссылки

1. *Антипова С. И., Шебеко Н. Г.* Заболеваемость злокачественными новообразованиями в регионах Беларуси через 22 года после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 2009. № 1-2. С. 3–10.

2. *Михайлов В. И.* Разломы земной коры и их влияние на строительство и эксплуатацию инженерных сооружений // Вестник БНТУ. 2009. № 1. С. 43–48.

3. *Тяшкевич И. А.* 40 лет развития метода дистанционного зондирования природных ресурсов в Республике Беларусь // Дистанционное зондирование природной среды: теория, практика, образование. / Минск. 2006. С. 6–10.

4. *Лаптенок С. А, Аринчин А. Н., Арсюткин Н. В.* Оценка влияния некоторых струмогенных факторов на развитие зоба у детей методом логарифмов преобладания // Здравоохранение. 1998. №7. С. 43–46.

5. *Лаптенок С. А, Арсюткин Н. В.* Оценка влияния некоторых струмогенных факторов на развитие зоба у детей методом приращения информации // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 1998. №3. С. 22–26

6. *Бубнов В. П., Дорожко С. В., Лаптёнок С. А.* Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск : БНТУ. 2009.

7. *Морзак Г. И., Лаптёнок С. А.* Пространственное моделирование в промышленной и социальной экологии. Минск : БГАТУ. 2011.

8. *Лаптёнок С. А.* Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск : БНТУ. 2013.

9. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И.* Эколого-тектонофизическая среда Беларуси. Минск : Беларуская навука. 2015.

10. *Лаптёнок С. А., Бойчук Л. А.* Пространственно-атрибутивная категоризация геоэкологических данных при анализе эпидемиологических рисков // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. 2016. №4. С. 93–98.

11. *Лаптёнок С. А.* Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем : учебно-методическое пособие. Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. 2020.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ НА ОСНОВЕ АГЕНТНОГО ПОДХОДА

И. В. Лефанова[1)], **Т. В. Смирнова**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, irina.lefanova@gmail.com*

В работе рассмотрены основные типы моделей распространения вирусных инфекций. Реализован агентный подход к моделированию инфекционных заболеваний. В качестве базовой модели для реализации агентного подхода была выбрана модель SIQRD, предусматривающая карантинные меры. Разработанная агентная модель позволяет учитывать соблюдение социальной дистанции особями в период распространения инфекционного заболевания, применение средств индивидуальной защиты и вакцинирование. Построены графики динамики распространения инфекционного заболевания при соблюдении карантинных мер.

Ключевые слова: имитационное моделирование; вирусные инфекции; SIQRD -модель; агентный подход; агент; дистанцирование.

MODELING THE SPREAD OF VIRAL INFECTIONS BASED ON AN AGENT-BASED APPROACH

I. Lefanova[1)], **T. Smirnova**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, irina.lefanova@gmail.com*

The paper considers the main types of models for the spread of viral infections. An agent-based approach to modeling infectious diseases is implemented. The SIQRD model, which provides for quarantine measures, was chosen as the basic model for implementing the agent-based approach. The developed agent-based model allows taking into account the observance of social distance by individuals during the spread of an infectious disease, the use of personal protective equipment and vaccination. Graphs of the dynamics of the spread of an infectious disease are constructed when quarantine measures are observed.

***Keywords*:** simulation modeling; viral infections; SIQRD -model; agent-based approach; agent; distancing.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-332-335

Введение

Одна из важнейших задач медицинской эпидемиологии и общественного здравоохранения – контролирование ситуации возникновения очагов вирусных инфекций, путей и скорости их распространения. Решение такой задачи, тем более задачи прогнозирования распространения особо опасных инфекций, возможно на основе математического и компьютерного моделирования. Результаты моделирования позволяют понять многие механизмы распространения инфекции и важны не только для здравоохранения, но и для экономики в целом, совершенствуя средства поддержки принятия управленческих решений как для оценки текущей ситуации, так и для прогноза ее развития.

К настоящему времени сформировалось несколько подходов к моделированию распространения инфекций. Их можно разделить на классические популяционные модели, имитационные модели, и модели, основанные на анализе статистических наблюдений.

Особенности моделей распространения вирусных инфекций

1. **В системной динамике** используют модели, основанные на дифференциальных уравнениях, описывающих распространение инфекции в популяции. Пример такой модели – классическая SIR-модель (Susceptible, Infected, Recovered) и ее разновидности: SEIR SIRS, SEIRD, SIQS и SIQR, SEIUR, включающие дополнительные группы индивидов. Такой подход часто используется при моделировании, поскольку он позволяет учитывать латентный период как задержку реакции системы; допускает использование неполной и неточной информации для прогнозирования. Недостатки: описывает только один пик; предполагает однородность популяции внутри одного компартмента, допускает, что для каждой группы населения выполняется непрерывное и равномерное перемешивание. Поскольку многие эмпирические коэффициенты модели были откалиброваны по устаревшим данным о миграции населения, она утратила свою адекватность. Для долгосрочного прогнозирования модель не подходит [1].

2. Для преодоления ограничений традиционных моделей применяются дискретно-событийные модели, представляющие собой некоторое множество переменных состояния модели и список запланированных событий, которые должны произойти в определенной последовательности в будущем. Каждое событие в модели – набор действий, определяющих новые значения переменных состояния. Сюда относят и «популяционные модели», отражающие простейшую структуру общества в виде «контактных групп». Недостатки такой модели – высокая погрешность из-за фиксированного шага по времени и большого количества параметров в формуле расчета вероятности заражения (достаточного контакта).

3. **Имитационное моделирование.** Наиболее гибким методом этого класса моделей являются агентные модели. Основаны на взаимодействии отдельных людей, при этом каждый индивидуум (агент) в общей системе имеет собственные характеристики и поведение. Агенты взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой по заданным правилам, создавая контактную сеть. В модель возможно включить географические и демографические данные, что позволяет учитывать перемещение агентов. В результате модель воспроизводит более точную динамику распространения инфекции. Агентные модели похожи на популяционные тем, что на основе социальной структуры моделируемой популяции формируются контактные группы, между которыми перемещаются агенты, и которые могут вступить в достаточный контакт. Основное отличие агентных моделей в том, что здесь шаг по времени не фиксирован, а момент времени, в который происходит достаточный контакт, определяется самим агентом.

Область применения агентных моделей – оценка эффективности различных мер по контролю за распространением инфекции (вакцинация, карантинные меры и социальное дистанцирование).

4. **Модели на основе данных:** Эти модели используют реальные данные о распространении инфекции для создания более точных прогнозов. Они включают статистические методы и машинное обучение для анализа данных и прогнозирования тенденций.

5. Прогнозирование распространения инфекции в условиях ограничительных мер по социальному взаимодействию населения успешно реализуется с использованием **искусственных нейронных сетей** (ИНН). При использовании ИНН для прогнозирования распространения инфекции важно подобрать алгоритм обучения. Так, в работе [2] продемонстрированы преимущества алгоритма Nadam перед традиционными методами Adam, Adagrad по точности результатов.

Агентный подход к моделированию

Для агентного моделирования будем использовать модель SIQRD (восприимчивый, инфицированный, карантинный, выздоровевший, умерший), использующую пять переменных , а именно S(t) – это количество восприимчивых особей, I(t) – количество инфицированных особей, Q(t) – число особей, находящихся в карантине, R(t) – это количество выздоровевших особей D(t) – количество умерших особей.

При разработке модели учитываем процент особей соблюдающих дистацирование, процент особей, применяющих индивидуальные средства защиты (маски).

Смоделируем следующую ситуацию: 10 симуляций, каждая из которых отслеживает 250 агентов в течение 250 дней в мире 25 х 25 со следующими начальными условиями: 5 инфицированных агентов (I), остальные восприимчивы (S), 0 % агентов носят маски, 0 % агентов соблюдают физическую дистанцию, 0 % агентов вакцинированы и построим график распространения заболевания (рис.1)

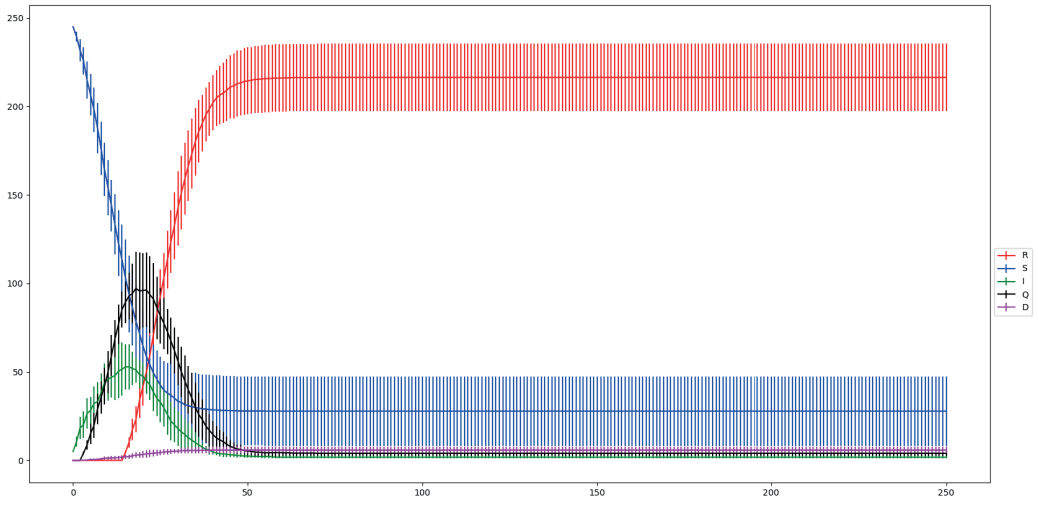


Рис. 1. Динамика распространения при отсутствии мер защиты

Рассмотрим ситуацию, при которой некоторый процент агентов использует маски и соблюдает физическую дистанцию: 25 % носят маски, 25 % соблюдают физическую дистанцию, остальные входные данные неизменны (рис. 2)

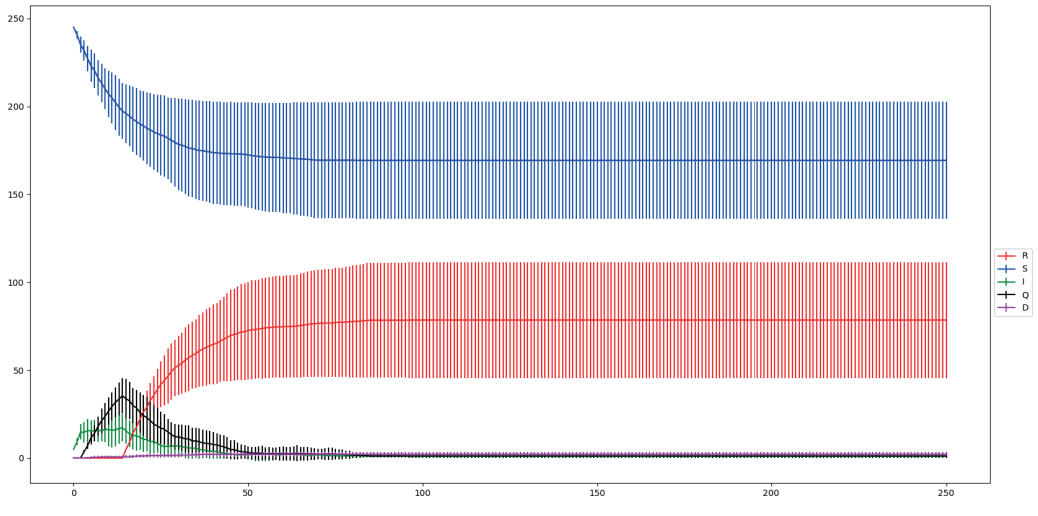


Рис.2. Динамика распространения при частичном дистанцировании (25 %) и частичном применении средств индивидуальной защиты (25 %)

Введем вакцинированных агентов и смоделируем следующую ситуацию: 10 симуляций, каждая из которых отслеживает 250 агентов в течение 250 дней в мире 25 х 25 со следующими начальными условиями: 5 инфицированных агентов (I), остальные восприимчивы (S), 0 % агентов носят маски, 0 % агентов соблюдают физическую дистанцию, 25 % агентов вакцинированы и построим график распространения заболевания

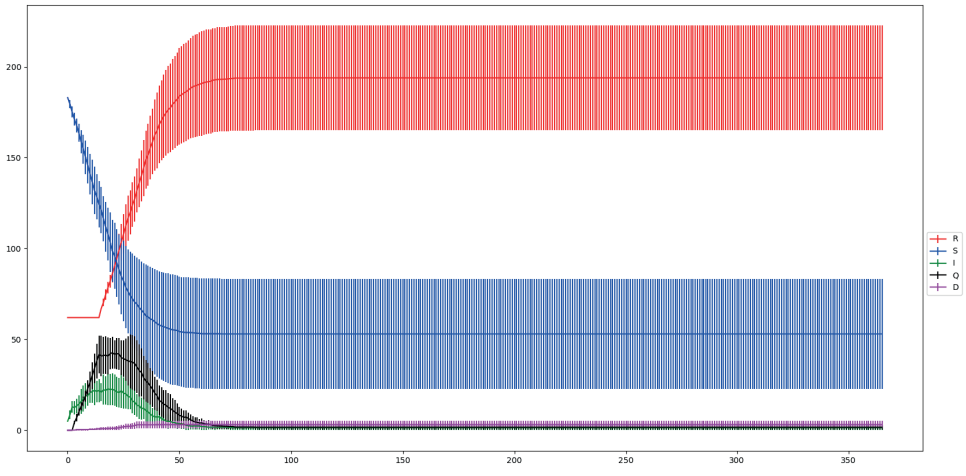


Рис.3. Динамика распространения при частичном (25 %) вакцинировании, при условии эффективности вакцины не менее 50 %

Следующая ситуация: 10 симуляций, каждая из которых отслеживает 250 агентов в течение 250 дней в мире 25 х 25 со следующими начальными условиями: 5 инфицированных агентов (I), остальные восприимчивы (S), 25 % агентов носят маски, 25 % агентов соблюдают физическую дистанцию, 25 % агентов вакцинированы и построим график распространения заболевания

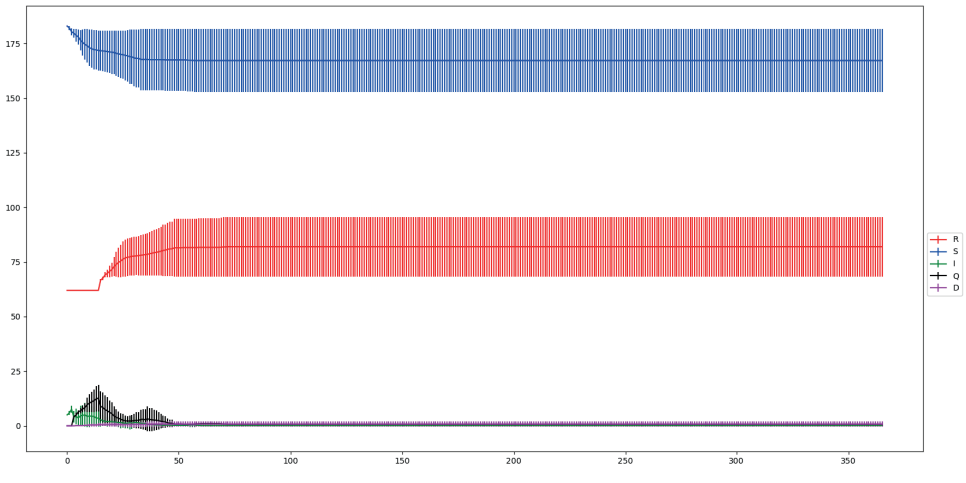


Рис. 4. Динамика распространения при частичном дистанцировании (25 %), частичном вакцинировании (25 %) и частичном применении средства индивидуальной защиты (25 %)

Заключение

В работе проведен анализ эпидемиологических моделей, рассмотрена модель SIQRD. Описан принцип построения эпидемиологической модели на основе агентного моделирования. Проведен сравнительный анализ данных подходов и выявлено, что агентный подход позволяет более точно и гибко настраивать эпидемиологическую модель, учитывая ряд дополнительных условий.

Библиографические ссылки

1. *Акимов, В. А., Бедило, М. В., Иванова, Е. О.* “Civil SecurityTechnology”, 2022, (Математические модели эпидемий и пандемий как источников чрезвычайных ситуаций биологосоциального характера Civil Security Technology, Vol. 19, 2022, No. 3(73)

2. *Dimou, A., Maragakis, M., Argyrakis, P.* A network SIRX model for the spreading of COVID-19// Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.- 2022.-№ 590 (126746).

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ СТАТИСТИКИ

Е. А. Николаенко[1)], **П. К. Шалькевич**[1)], **И. А. Тавгень**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nikolaenko@iseu.by*

В статье рассматриваются особенности применения иерархического подхода для пространственно-временных моделей распространения загрязняющих веществ в почвах. Описываются преимущества применения иерархических моделей и приводится схема построения иерархической модели распространения загрязняющих веществ в почвах. Рассматриваются байесовские статистические методы, их преимущества и особенности применения в предложенной иерархической модели для моделирования миграции загрязняющих веществ в почвах с применением нейросетевых технологий.

Ключевые слова: иерархические пространственно-временные модели; байесовская статистика; нейронные сети; миграция загрязняющих веществ в почве.

HIERARCHICAL APPROACH TO SPATIOTEMPORAL MODELING OF POLLUTANT DISTRIBUTION IN SOILS BASED ON BAYESIAN STATISTICS

E. A. Nikolaenko[1)], **P. K. Shalkevich**[1)], **I. A. Tavgen**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nikolaenko@ iseu.by*

The article discusses the features of using a hierarchical approach for spatiotemporal models of pollutant distribution in soils. The advantages of using hierarchical models are described and a scheme for constructing a hierarchical model of pollutant distribution in soils is provided. Bayesian statistical methods, their advantages and features of application in the proposed hierarchical model for modeling pollutant migration in soils using neural network technologies are considered.

Keywords: hierarchical spatiotemporal models; Bayesian statistics; neural networks; migration of pollutants in soil.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-336-340

Введение. Большинство физических процессов, происходящих в окружающей среде, описываются данными, которые имеют как пространственную, так и временную привязку [1]. Пространственно-временные модели, в свою очередь, описываются большим числом параметров и многомерных наблюдений, анализ которых позволяет делать оценку моделируемых процессов, а также выполнять краткосрочное и долгосрочное прогнозирование. Модели, описывающие распространение загрязняющих веществ в почвах, не являются исключением, однако большинство существующих моделей имеют ряд недостатков: упрощение предположений о свойствах почв и поведении загрязнителей; недостаточная детализация пространственного распределения или временной динамики распространения загрязнителей; недостаточный учет биологических процессов в почве; недостаток данных для проверки моделей; недостаточный учет климатических изменений и др. [2]. Все это делает акту-

альной задачу создания новых пространственно-временных моделей физических процессов, позволяющих учитывать множества факторов, влияющих на природу исследуемого процесса, а также позволяющих учитывать различные источники неопределенностей в изучаемом явлении. Технологической основой создания таких пространственно-временных моделей могу служить современные ГИС-технологии.

Применение традиционных статистических методов для построения пространственных и пространственно-временных моделей часто либо неуместно, либо неэффективно с вычислительной точки зрения, так как они зачастую не позволяют количественно оценить неопределенность, присущую многомерным данным таких моделей.

Традиционные подходы к моделированию на основе правдоподобия позволяют создавать научно значимые структуры данных, однако в сложных ситуациях с сильно параметризованными моделями и ограниченными или отсутствующими данными оценка путем максимизации правдоподобия часто оказывается проблематичной или невыполнимой. Методы численной аппроксимации во многих случаях могут быть применимы и полезны, особенно для большого количества параметров, но могут сопровождаются трудностями, связанными с высокими затратами вычислительных ресурсов для их реализации [3].

Таким образом, необходима гибкая структура, способная учитывать сложные взаимосвязи между данными и моделями процессов, а также различные источники неопределенности.

Иерархический подход к пространственно-временному моделированию распространения загрязняющих веществ в почвах. Иерархические модели, в которых исследуемый процесс разлагается на ряд уровней, связанных простыми правилами вероятности, предполагают очень гибкую структуру, способную учитывать неопределенность и потенциальные априорные научные знания, сохраняя при этом многие преимущества строгого вероятностного подхода [4]. После появления байесовской иерархической модели и развития МСМС (Марковская цепь Монте-Карло) начался бурный рост исследований, как теоретических, так и прикладных, использующих и (или) разрабатывающих иерархические модели [5].

Иерархическое моделирование основано на простом факте из теории вероятностей о том, что совместное распределение совокупности случайных величин может быть разложено на ряд условных моделей. Например, если a, b, c – случайные величины, то базовая вероятность допускает факторизацию:

$$[a, b, c] = [a|b, c][b|c][c], \quad (1)$$

где скобки используются для указания распределения вероятности, а $[a|b,c]$ означает условное распределение величины a в зависимости от значения величин b и c. В случае пространственных и пространственно-временных моделей совместное распределение описывает поведение процесса во всех пространственных точках, представляющих потенциальный интерес (и, возможно, во все времена). Это совместное распределение (левая часть (1)) трудно определить для сложных процессов [5]. Как правило, гораздо проще определить распределение условных моделей (правая часть (1)). В этом случае произведение ряда относительно простых условных моделей дает совместное распределение, которое может быть достаточно сложным.

При моделировании распространения загрязняющих веществ в почвах предлагается построение иерархической модели согласно схеме, представленной на рисунке:

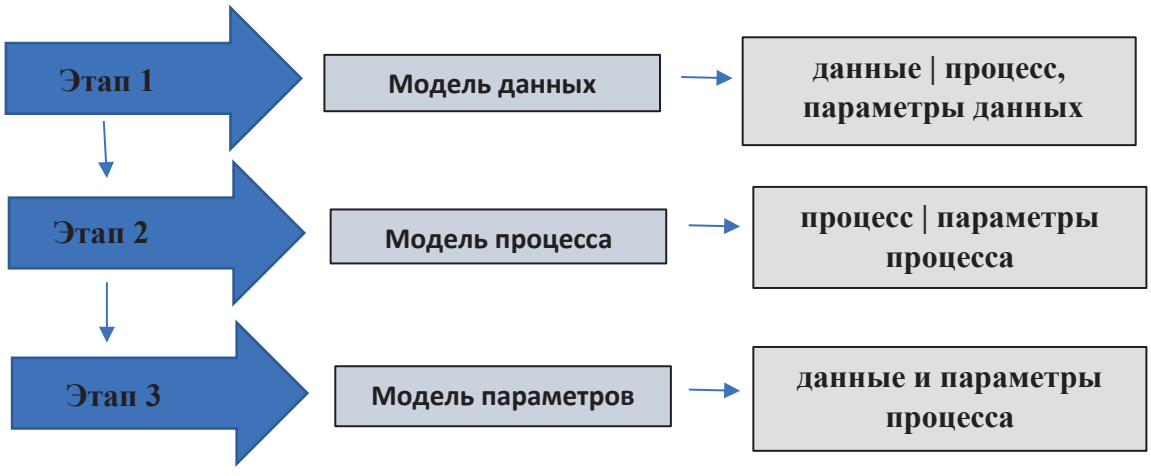


Схема построения иерархической модели распространения загрязняющих веществ в почвах

Основная идея заключается в том, чтобы подойти к сложной проблеме, разбив ее на более простые проблемы. Хотя иерархическое моделирование не является чем-то новым для статистики, эта базовая формулировка для моделирования сложных пространственных и пространственно-временных процессов в окружающей среде появилась относительно недавно [5].

На первом этапе рассматривается процесс наблюдения или «модель данных», которая определяет распределение данных с учетом основного процесса, представляющего интерес, и параметров, описывающих модель данных. На втором этапе описывается процесс в зависимости от других параметров процесса. Наконец, на последнем этапе моделируется неопределенность в параметрах, полученных как на этапе данных, так и на этапе процесса. Каждый из этих этапов может быть разбит на множество этапов.

Задача состоит в том, чтобы оценить распределение процесса и параметров с учетом данных. Байесовские методы естественным образом подходят для оценки в таких иерархических условиях, хотя иногда можно использовать и небайесовские методы, но они часто требуют дополнительных предположений. В частности, байесовские методы широко используются для обучения и вероятностного вывода в нейросетях. Необходимо отметить, что байесовский подход получил широкое распространение при создании нейросетевых моделей, в случаях, когда рационально задание весов сети в виде вероятностного распределения по всем допустимым значениям, которые могут принимать параметры сети [6]. Применение байесовского распределения для создания нейросетевых моделей распространения загрязняющих веществ в почвах является принципиально новым подходом в эмпирическом моделировании подобных физических процессов.

При использовании байесовского подхода «апостериорное распределение» (т. е. совместное распределение процесса и параметров с учетом данных) получается по теореме Байеса:

$$[\text{процесс, параметры}|\text{данные}] \propto [\text{данные}|\text{процесс,параметры}]\times[\text{процесс}|\text{параметры}][\text{параметры}] \quad (2)$$

Байесовская статистика предполагает получение статистических выводов из апостериорного распределения, которое пропорционально модели данных (т.е. правдоподобию), умноженному на априорные знания (т.е. предшествующее). Теорема Байеса, таким образом, является механизмом, обеспечивающим доступ к апостериори. Хотя теорема Байеса проста в принципе, ее реализация для сложных моделей может быть затруднительной.

Одна из проблем связана со спецификацией параметризованных распределений компонент в правой части (2). Такой выбор является естественной частью научного моделирова-

ния. Фактически, использование научных знаний в предварительном распределении позволяет включить неопределенность, связанную с этими спецификациями, в явном виде в модель.

Другой, возможно, более важной с практической точки зрения проблемой является расчет апостериорного распределения. Сложная и многоуровневая природа многих научных моделей (и, более того, большинства пространственно-временных моделей) не позволяет напрямую оценить апостериорное распределение. Однако для оценки апостериорного распределения с помощью итеративной выборки можно использовать подходы МСМС. Использование МСМС имеет решающее значение для реализации байесовских иерархических моделей, поскольку позволяет рассматривать реалистичные (т.е. сложные) модели; это особенно очевидно при анализе пространственных и пространственно-временных процессов. Однако, как правило, при формулировании условных моделей в таких задачах необходимо учитывать вычислительную нагрузку. Таким образом, этап построения модели требует не только научного понимания проблемы, но и того, как это понимание может быть изменено, чтобы вписаться в вычислительные рамки.

Основное преимущество байесовской иерархической модели перед традиционными ковариационными методами заключается в том, что она позволяет моделировать сложную структуру на более низком уровне иерархии, а не пытаться моделировать сложные совместные зависимости.

Пусть Z $(s,\ t)$ – пространственно-временной процесс, где $s \in Ds$, причем Ds – непрерывная или дискретная и потенциально изменяющаяся во времени пространственная область, а $t \in Dt$ – дискретная временная область. Общность определения пространственной области позволяет применять пространственно-временной процесс как к непрерывным, так и к дискретным данным. Общая декомпозиция процесса (когда $Z(s,t)$ и $Y(s,t)$ имеют одинаковую пространственную основу и отсутствуют пропущенные данные) может быть записана как:

$$Z(s,t) = Y(s,t) + \varepsilon(s,t), \tag{3}$$

где $Y(s,t)$ – «истинный» базовый коррелированный процесс, представляющий интерес, а $\varepsilon(s,t)$ – процесс с нулевой средней ошибкой измерения. Базовый процесс $Y(s,t)$ может быть далее разложен на средний процесс, аддитивный процесс ошибок и пространственные или временные случайные параметры. Последние подходы к пространственно-временному моделированию сфокусированы на определении совместных пространственно-временных ковариационных структур. Однако в высокоразмерных системах со сложным нелинейным пространственно-временным поведением такие ковариационные структуры очень трудно сформулировать. Альтернативным подходом к моделированию таких сложных процессов является использование пространственно-временных динамических моделей в иерархическом виде.

Многие пространственно-временные процессы, в том числе, процесс распространения загрязняющих веществ в почвах, являются динамическими в том смысле, что текущее состояние процесса является функцией предыдущих состояний.

Совместный пространственно-временной процесс может быть разложен на условные модели, основанные на Марковском предположении:

$$[Y|\theta_t, t = 1, \dots, T] = [y_0] \prod_{t=1}^{T} \quad [y_t|y_{t-1}, \theta_t], \tag{4}$$

где $y=(y1, \dots. yT)$, $yt =(y(s1,t), \dots, y(sn,t))$' и условное распределение $[yt\ |yt\text{-}1,\theta t]$ зависит от вектора параметров θ_t, которые управляют динамикой интересующего нас пространственно-временного процесса.

Заключение. Сложность физических процессов в окружающей среде, в частности, миграции загрязняющих веществ в почвах, показывает [2], что при их моделировании необходимо учитывать большое количество факторов, связанных как со свойствами самого загрязняющего вещества, так и с условиями его распространения. Степень влияния внешних факторов может отличаться для различных дисперсных сред, загрязняющих веществ, рассматриваемых моментов времени и пространства. Все эти аспекты показывают необходимость выбора методов анализа и моделирования, способных учитывать все особенности изучаемого процесса с учетом различных неопределенностей. Байесовская статистика, и, в частности, байесовские нейронные сети, которые могут быть разработаны на основе предложенной иерархической модели распространения загрязняющих веществ в почвах, может стать тем инструментом, который позволит эффективно обрабатывать многомерные массивы исходных данных и строить достоверные прогнозы в исследуемой предметной области.

Библиографические ссылки

1. *Гулаков В. К., Трубаков А. О., Трубаков Е. О.* Пространственно-временные структуры данных. Брянск: БГТУ, 2013. 215 с.
2. Компьютерное моделирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / С. П. Кундас [и др.]. Минск, 2011. 212 с.
3. *Шалькевич П. К.* Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2021. Т. 65, № 2. С. 139–145.
4. *Полухин П. В.* Применение байесовских методов для оптимизации обучения нейросетевых моделей тестирования приложений // Вестник кибернетики. 2022. № 3 (47). С. 46–56. DOI 10.34822/1999-7604-2022-3-46-56.
5. *Wikle, C. K., Berliner, L. M., Cressie, N.*: Hierarchical Bayesian space-time models. J. Envr. Ecol. Stat. 5, 117–154 (1998)
6. Понимаем теорему Байеса [Электронный ресурс] URL: https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-2-139-145 (дата обращения : 14.02.2025)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Е. Д. Пытляк[1)], **П. К. Шалькевич**[1)], **И. А. Тавгень**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, p.k.shalkevich@gmail.com*

В настоящее время во всем мире ведутся широкомасштабные исследования по радиометрическому мониторингу окружающей среды. Среди радионуклидов обязательному мониторингу подлежат цезий-137(137Cs) и стронций-90 (90Sr), которые мигрируют и в водных экосистемах. Мониторинг осуществляется путем планового периодического радиологического контроля воды. Актуальность исследования обусловлена необходимостью учета разнообразия форм миграции природных радионуклидов при смене геохимических условий, а также при прогнозировании параметров миграции радионуклидов применением географических информационных систем.

Ключевые слова: радионуклиды; водные экосистемы; миграция радионуклидов; компьютерное моделирование.

MODELING OF RADIONUCLIDE MIGRATION IN NATURAL AQUATIC ECOSYSTEMS

E. D. Pytliak[1)], **P. K. Shalkevich**[1)], **I. A. Tavgen**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, p.k.shalkevich@gmail.com*

Currently, large-scale studies on radiometric monitoring of the environment are being conducted all over the world. Among radionuclides, cesium-137 (137Cs) and strontium-90 (90Sr), which migrate in aquatic ecosystems as well, are subject to mandatory monitoring. Monitoring is carried out by means of planned periodic radiological control of water. The relevance of the study is explained by the need of considering the diversity of radionuclides migration forms when geochemical conditions change, as well as predicting radionuclides migration parameters using geographic information systems.

Keywords: radionuclides; aquatic ecosystems; radionuclide migration; computer modeling.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-341-344

Введение. Распределение форм нахождения радиоактивных элементов, определяющих их подвижность в геосистемах и биологическую доступность, является первостепенной информацией для оценки последствий и долгосрочных прогнозов в отношении техногенных и природных радионуклидов, попавших в окружающую среду [1]. На сегодняшний момент в радиоэкологических и геохимических исследованиях накоплен большой материал по миграции и поведению в наземных экосистемах ряда техногенных радионуклидов – ^{137}Cs, ^{90}Sr, и других [2], определяющих дозовую нагрузку.

Механизмы поступления радионуклидов в экосистему. Цезий-137, поступивший во внешнюю среду, интенсивно включается в процессы миграции, особенно в начальный период, чему способствуют два обстоятельства. Во-первых, предшественниками ^{137}Cs являются йод и ксенон: ^{137}I претерпевает β−-распад, в результате образуется 137Xe, который тоже претерпевает β−-распад и образуется ^{137}Cs [2]. При всех (кроме наземных на силикатных почво-грунтах и подземных) ядерных взрывах и аварийных выбросах ядерных предприятий выпавшие ра-

дионуклиды характеризуются хорошей растворимостью, что имеет принципиальное значение в процессах их миграции. При наземных взрывах на силикатных почвогрунтах и подземных взрывах радиоактивные частицы характеризуются слабой растворимостью.

^{90}Sr образуется при ядерных взрывах и внутри ядерного реактора во время его работы. Образование стронция-90 при этом происходит как непосредственно в результате деления ядер урана и плутония, так и в результате бета-распада короткоживущих ядер с массовым числом $A = 90$ (в цепочке $^{90}\text{Se} \rightarrow {}^{90}\text{Br} \rightarrow {}^{90}\text{Kr} \rightarrow {}^{90}\text{Rb} \rightarrow {}^{90}\text{Sr}$), образующихся при делении. В связи с высокой токсичностью и способностью легко включаться в процессы геохимической и биологической миграции ^{90}Sr относится к числу наиболее опасных радионуклидов. В результате ^{90}Sr наиболее интенсивно перераспределяется в экосистемах и мигрирует по пищевым цепям, попадая в организм человека и формируя дозу его внутреннего облучения наряду с ^{137}Cs [2].

Миграция радионуклидов во внешней среде чрезвычайно сложный процесс. Подвижность радионуклидов в биоценозе зависит от их физико-химических свойств, условий окружающей среды и биологических особенностей растений и животных. В процессах миграции и биологической доступности радионуклидов большую роль играет растворимость аэрозолей и степень выщелачивания радионуклидов из частиц, определяемая условиями их образования.

Особенности миграции радионуклидов в водных экосистемах. Природные воды являются многокомпонентными и сложноорганизованными системами, которые содержат большое количество минеральных и органических веществ. Геохимическая обстановка таких объектов может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Анализ растворенных форм радионуклидов в поверхностных природных водах является определенно важным аспектом при эколого-геохимических исследованиях водных объектов, так как напрямую связан с экологической оценкой и изучением токсичности и биологической доступности радиоактивных элементов [3].

Все источники поступления загрязняющих веществ в водные объекты можно разделить на две основные категории: точечные и диффузные.

Отличительные признаки этих источников заключаются в том, что точечные источники стабильны – изменение концентрации и объема сбрасываемых веществ, обычно не превышает одного порядка. В то же время, диффузные источники загрязнения часто очень мобильны и контрастны – диапазон изменения концентрации, поступающих от них веществ и объема, может изменяться до нескольких порядков, причем эти изменения происходят через неопределённые промежутки времени. Нагрузка на водные объекты от них напрямую связана с погодными условиями, особенно с выпадением атмосферных осадков. Эти источники загрязнения трудно или практически невозможно обнаружить [4].

Радиоактивные элементы могут поступать в водные растворы от диффузных или точечных источников загрязнения природного и техногенного характера в результате смыва с водосборной площади. Это определяет вероятность поступления в речные системы различных химических и физико-химических форм. При взаимодействии с водой и в результате процессов комплексообразования, коагуляции, сорбции, изменения окислительно-восстановительных условий происходит трансформация поступивших физико-химических форм и образование устойчивых растворенных форм, которые, в свою очередь, определяют степень опасности радионуклидов.

К числу основополагающих факторов, которые определяют характеристики миграции радионуклидов, на пути их транспорта от источника поступления до образования устойчивых растворенных форм, можно отнести:

– тип источника;
– гидрологический режим;
– гидрогеохимические показатели состава воды;
– физико-химический состав взвешенных веществ и донных осадков.

Для идентификации стронция-90 и цезия-137 в воде, была создана установка, в которой для улавливания и концентрирования изотопов используются волокнистые сорбенты [4]. Одной из основных особенностей этих сорбентов является большая контактная поверхность, которая в десятки раз выше, чем у гранулированных, что существенно увеличивает скорость хемосорбции, полнота улавливания за короткое время может доходить до 95 % и выше. Сорбенты изготавливаются в виде волокнистого полотна, подвергнутого соответствующей химической обработке. Ионообменная ёмкость сорбентов высокая, если учесть, что масса радиоактивного нуклида на один беккерель (один распад в секунду) составляет всего ~10^{-13} г., что позволяет концентрировать значительное количество радиоактивного материала в малых объёмах сорбента в форме, удобной для измерения [5].

Формы нахождения радионуклидов и особенности их распространения в водным экосистемах имеют определяющее значение для построения моделей миграции этих загрязняющих веществ.

Моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах. Компьютерное моделирование – необходимый инструмент для прогнозирования миграции радионуклидов. К настоящему времени накоплен существенный опыт построения моделей для прогнозирования распространения радионуклидов в почвах [6], в реках и водоемах [7]. Значительное развитие в области моделирования миграции техногенных радионуклидов в водных объектах получили в связи с Чернобыльской катастрофой [5]. При этом, применение компьютерного моделирования в этой области требует разработки новых или использования уже существующих математических моделей и методов их численного решения.

Для компьютерного моделирования миграции радионуклидов необходимо выполнить следующие этапы:

– постановка задачи для определения целей моделирования;
– построение концептуальной модели;
– разработка математической модели;
– разработка вычислительных алгоритмов численного решения разработанной модели;
– реализация модели и вычислительных алгоритмов в виде компьютерной программы;
– оценка чувствительности модели к входным параметрам;
– верификация разработанных моделей, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения.

При разработке математической модели следует учитывать цели моделирования, тип водного объекта, характеристики источников радионуклидов, характер водопользования, требуемую точность расчетов. Нужно иметь в виду, что модель должна с необходимой разрешающей способностью отражать основные процессы, влияющие на миграцию радионуклидов в данном типе водного объекта с учетом характеристик источников радиоактивности. В то же время неточность входных данных при использовании излишне сложных и подробных моделей может приводить к менее точным результатам по сравнению с более простыми моделями. Поэтому необходимо применять сложные модели только в том случае, если есть достаточно надежные входные данные, а более простые модели не позволяют проводить расчеты с требуемой точностью. Кроме того, следует учитывать, что использование определяемых параметров, а также эмпирических параметров может существенно снизить точность прогноза [5]. Для моделирования подобных процессов [8] можно использовать эмпирический или феноменологический процессы. Создавая модель миграции радионуклидов в водных экосистемах оптимальнее применить феноменологический подход, с помощью которого полученную модель можно будет применять для решения задачи в разных условиях.

Таким образом, оптимальным представляется ориентация модели на использование измеряемых параметров, значения которых в то же время могут быть оценены при помощи или

путем привлечения типичных для соответствующего типа водоемов значений. Описанный подход позволит разработать математическую модель миграции радионуклидов в природных водных экосистемах, вычислительные алгоритмы ее численного решения и программное обеспечение на их основе.

Библиографические ссылки

1. *Бекман И. Н.* Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения: учебник для бакалавриата и магистратуры. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2016.

2. *Ободовский И. М.* Источники ионизирующих излучений: учебное пособие. Долгопрудный: Интеллект, 2016.

3. *Милютин В. В. Некрасова Н. А., Козлитин Е. А.* Селективные неорганические сорбенты в современной прикладной радиохимии. Труды Кольского научного центра РАН, 2015, № 5, с. 418–421.

4. *Ферронский В. И,. Поляков В. А.,* Изотопия гидросферы Земли М.: Научный Мир, 2009.

5. *Носов А. В.* Оценка источника поступления радиоактивных веществ в реку по данным измерения загрязнения донных отложений // Атомная энергия. 2015. Т. 99, вып. 3.

6. *Шалькевич П. К.* Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2021. Т. 65, № 2. С. 139-145.

7. Обзор существующих подходов к моделированию распространения радиоактивных веществ в водных объектах суши. Препринт / А. В. Носов [и др.] // Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН М: ИБРАЭ РАН, 2018.

8. *Шалькевич П. К.* Мониторинг параметров загрязняющих окружающую среду веществ и прогнозирование их значений с применением геоинформационных систем // Информационные технологии и системы 2024 (ИТС 2024) = Information Technologies and Systems 2024 (ITS 2024) : материалы междунар. науч. конф. 20 ноября 2024. / БГУИР ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. Минск, 2024. С.9-10. (статья в печатных материалах конференции, 1 автор)

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОРНИТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е. К. Рентюк[1)], **М. В. Коринев**[1)]

[1)] *«Мелитопольский государственный университет» пр-кт Богдана Хмельницкого, 18, 272312 г. Мелитополь, Запорожская обл., Россия, korinevm@yandex.ru*

В настоящей статье проводится обзор современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Анализируются возможности ДЗЗ для описания мест обитания и визуального наблюдения птиц. Показаны возможности анализа космических снимков для обнаружения водных объектов, описания ландшафта и растительности. Приводятся основные расчетные индексы, используемые для описания орнитокомплексов по спутниковым данным. Сравниваются возможности ДЗЗ с традиционными методами изучения орнитокомплексов. В результате работы составлен алгоритм использования методов ДЗЗ для изучения орнитофауны водно-болотных угодий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; спутниковые снимки; БПЛА; GPS-наблюдения; орнитокомплексы.

POSSIBILITIES OF USING EARTH REMOTE SENSING METHODS FOR ORNITHOLOGICAL RESEARCH

K. K. Rentiuk[1)], **M. V. Korinev**[1)]

[1)] *Melitopol State University, Bogdan Khmelnitsky Ave., 18, 272312 Melitopol, Zaporizhia region, Russia, korinevm@yandex.ru*

This article provides an overview of modern methods of remote sensing of the Earth. The possibilities of remote sensing for describing the habitat and visual observation of birds are analyzed. The possibilities of analyzing satellite images for detecting water bodies, describing the landscape and vegetation are shown. The main calculated indexes used to describe ornithocomplexes based on satellite data are given. Remote sensing capabilities are compared with traditional methods of studying ornithocomplexes. As a result of the work, an algorithm has been developed for using remote sensing methods to study the avifauna of wetlands.

Keywords: remote sensing of the Earth; satellite images; UAVs; GPS observations; ornithocomplexes.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-345-348

Введение. Водно-болотные птицы играют важную роль в поддержании экосистем и биоразнообразия. Они сталкиваются с угрозами, связанными с изменением климата, антропогенным воздействием и утратой мест обитания. В условиях глобальных изменений окружающей среды мониторинг и изучение орнитофауны становятся ключевыми задачами для их сохранения. Данные ДЗЗ стали активно использоваться для сбора информации о территориях и размещенных на них объектах, в картографии, мониторинге чрезвычайных ситуаций (пожаров, наводнений), в сельском хозяйстве, океанологии, геодезии и мониторинге антропогенного воздействия на природную среду. При изучении мест обитания птиц имеют значение климатические условия и эколого-географические характеристики региона (ландшафт, водные объекты, растительность, антропогенные объекты). Мониторинг эколого-географических характеристик мест обитания птиц дает возможность определить уровень изменчивости орнитокомплексов, с целью принятия управленческих решений для сохранения биоразнообразия.

Целью данного исследования является анализ и систематизация существующих исследований с использованием методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в орнитологиче-

ских исследованиях водно-околоводных птиц. Основные задачи включают обзор современных методов ДЗЗ, оценку их эффективности и составление алгоритма использования ДЗЗ в изучении орнитофауны ВБУ.

Методы и материалы исследования. Проведен библиографический анализ и сравнительные исследования доступной литературы баз данных РИНЦ, Google Academy, SCOPUS. Была собрана и проанализирована литература за последние 20 лет о методах ДЗЗ в океанологии, гидрологии, геологии, биологии и экологии, для возможных исследований орнитокомплексов ВБУ. Общим объемом 85 источников. Нами применялись методологический, теоретический, интегративный и систематический методы анализа литературных данных.

Результаты исследования. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) состоит из совокупности технологий, позволяющих получать достоверную информацию о поверхности Земли и её объектах дистанционно. В орнитологических исследованиях ДЗЗ включает методы спутниковой съемки, аэросъемки с использованием самолетов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Современные технологии ДЗЗ также включают использование GPS-меток, обеспечивающих высокую точность данных о географическом местоположении птиц. Комбинация спутниковых данных и GPS-наблюдений не только фиксирует маршруты миграции, но и позволяет комплексно изучать влияние изменений экосистем на поведение птиц.

Для характеристики мест обитания водно-околоводных птиц необходимо определить расположение водных объектов и их границу с сушей с максимальной достоверностью. Обнаружение водных объектов проводится на основе сравнительного анализа значений водных индексов NDWI, MNDWI, NDMI, WRI, NDVI и AWEI. Для этого используются многоспектральные спутниковые измерения при помощи Landsat-8. Доказано, что наиболее хорошо выделяются водные объекты с помощью индекса AWEI (общая точность 99,3 %). [1]

О. В. Николаева предложила алгоритм обнаружения водных объектов на многоспектральных снимках. По данному алгоритму водоёмы определяются по освещённости, чистоте, с солёной и пресной водой. Использовалось два индекса NDWI и MNDWI. [2] Также К. А. Курганович дал оценку применимости водных индексов и определил площади водного зеркала озёр по данным Landsat ETM+. В результате исследования автор пришёл к выводу, что индекс MNDWI обладает большей точностью при дешифрировании водных поверхностей в районе исследования. [3]

К. А Курганович с исследователями использовали гибридный метод совместного анализа данных спутникового зондирования LANDSAT и БПЛА. Для оценки площади водного зеркала рассчитывают водные спектральные индексы, основываясь на особенностях отражения излучения водной поверхностью в видимой и инфракрасной областях оптического спектра. [4]

Воздушно-водная растительность играет важную роль для водных и околоводных птиц, обеспечивая места их гнездования и кормления. Определение ареалов распространения воздушно-водной растительности по многоспектральным данным дистанционного зондирования Земли спутника Landsat-8, оказалось эффективным при использование данных в ближнем ИК диапазоне. [5]

Также с помощью данных ДЗЗ можно оценить площадь зарастания водоёма. Границы водоёма и заросли высших водных растений на акватории были выделены Т. И. Кутявиной и др. на разновременных космических снимках со спутника Sentinel-2 по результатам расчёта вегетационных индексов: нормализованного разностного водного индекса (NDWI), нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) и индекса растительности с поправкой на воду (WAVI). [6]

Наиболее широкое использование в проектах по глобальному картографированию растительного покрова находят данные спутниковых систем Terra/Aqua-MODIS, SPOT-VEGETATION, Proba-V и Landsat-TM/ETM/OLI.

С помощью космических снимков со сверхвысоким разрешением подсчитали популяцию темнокрылых альбатросов возле островов Чатэм в Новой Зеландии. Для этого использовали изображения со спутника DigitalGlobe WorldView-3, который показывает детали размером до 30 сантиметров. [7]

Практическое использование спутниковых данных в орнитологии показано в исследовании по определению основных мест обитания желны на выбранной территории. Исходя из полученной карты распределения потенциальных мест гнездования, исследователи оценили численность желны в отдельных квадратах и на основе этого рассчитали возможную общую численность для всей территории исследования. [8]

В современных орнитологических исследованиях используются методы спутниковой съемки, аэросъемки с самолетов и БПЛА. Данные технологии позволяют изучать орнитокомплексы в различных масштабах. Проведённые исследования позволили установить, что использование беспилотных летательных аппаратов позволяет значительно сократить временные затраты на сбор данных и обеспечивает точность учёта птиц на уровне от 50 % до 90 %, что существенно превосходит показатели, достигаемые при применении традиционных методов. [9] Это особенно важно для труднодоступных мест, таких как заболоченные территории, где наземные наблюдения практически невозможны.

Во время подсчётов с помощью БПЛА групповой реакции испуга не наблюдалось. Повышенная точность подсчёта, обеспечиваемая БПЛА, а также их способность обследовать труднодоступные популяции и места, скорее всего, приведут к тому, что многие проекты по экологическому мониторингу, основанные на подсчёте популяций, перейдут от традиционных методов к технологии БПЛА.

Исходя из анализа опубликованных исследований можно утверждать о преимуществах БПЛА для орнитологических исследований:

– снижается негативное воздействие исследователя на колонию птиц;
– дает возможность точно подсчитать общее число птиц в гнездовом поселении;
– повышается точность подсчёта гнездовых участков;
– появляется возможность автоматизации подсчёта особей и геоинформационного анализа их размещения.

Учеными разработана новая SDB модель спутниковой батиметрии с использованием метода машинного обучения, для анализа глубины прибрежных вод разной степени мутности с использованием алгоритма случайного леса, обученного на данных мультиспектральных космических снимках Sentinel-2A/B в комплексе с данными морских карт. После обучения на достаточном количестве данных, модель по космическому снимку смогла прогнозировать глубину, с ошибкой около 2 м в прибрежных полуостровах с разными характеристиками воды. [10]

Спутниковые данные, обработанные алгоритмами классификации дают возможность дать масштабную оценку территории, а при корректировке ROI (Region of Interest) созданных для тренировки модели, данными полученными с БПЛА, более точную картину. Также после обучения остается тренинг-файл с Signatures, который можно использовать, для точной оценки имея только спутниковые данные в аналогичный период в дальнейшем, для ГИС анализа, расчета площадей классифицированных данных.

Традиционные методы сбора данных о популяциях водно-болотных птиц включают наземные наблюдения, учет численности и визуальную идентификацию видов. Эти подходы требуют значительных усилий и времени, поскольку исследователи должны физически присутствовать на изучаемой территории. Тем не менее, наземные наблюдения остаются важным инструментом для валидации данных, полученных с помощью ДЗЗ. Точную информацию о поведении птиц и их взаимодействии с окружающей средой, обеспечивают данные ДЗЗ, что делает их незаменимыми в локальных исследованиях.

И так, в результате анализа литературных данных мы предлагаем следующий алгоритм использования ДЗЗ в изучении орнитофауны ВБУ:

1. Получение спутникового снимка орнитокомплекса ВБУ;
2. Анализ снимка по водным и вегетационным индексам;
3. Составление предварительной геоинформационной (ГИ) карты орнитокомплекса;

4. Получение снимка БПЛА заданной территории;

5. Коррекция ГИ карты, созданной с помощью ГИС технологий и машинного обучения или алгоритма классификации;

6. Получение данных об идентификации и распределении видов птиц от профессиональных орнитологов на заданном участке ВБУ;

7. Составление ГИС карты орнитокомплекса.

Заключение. Эффективные методы и алгоритмы визуализации данных космических снимков ландшафтных комплексов, с использованием ГИС технологий, в целом достаточно хорошо проработаны. При выделении исследователями значимых факторов экологической ниши для изучения конкретных видов птиц методами ДЗЗ возможно моделирование потенциальных орнитокомплексов.

Спутниковая съемка дает возможность получать глобальные данные для анализа больших территорий, а БПЛА – локальные данные с высокой точностью. Основное преимущество данных способов – быстрое покрытие обширных территорий. Для предварительного анализа территорий обитания птиц в качестве исходных данных используют системы спутникового зондирования семейств Канопус-В, Landsat, Sentinel. Эффективность данных полученных по спутниковым снимкам для оценки ВБУ ранжируется аналогично их разрешению: данные высокого (20-49 м), очень высокого разрешения (1-19 м) и сверхвысокого разрешения (до 1 м). Для БПЛА достаточно разрешения 12 Мпикс. Обработка данных возможна по трем направлениям: климатическом (температура, влажность), геоморфологическом (определение воды, суши, высоты над уровнем моря и др.) и биологическом (типы растительности и видов птиц). Предложенный алгоритм использования ДЗЗ в изучении орнитофауны ВБУ планируется использовать на практике.

Библиографические ссылки

1. *Катаева М. Ю., Бекерова А. А.* Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям / Доклады ТУСУРа. 2017, том 20. № 4. С. 105–108.

2. *Николаева О. В.* Алгоритм обнаружения водных объектов на многоспектральных снимках // Современные проблемы ДЗЗ из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 9-18.

3. *Курганович К. А.* Сравнение алгоритмов дешифрирования водных поверхностей по индексам NDWI и MNDWI на примере степных озер Восточного Забайкалья // Водные ресурсы и водопользование. Сборник трудов. Чита, 2015. С. 15-23.

4. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния бесхозяйных противопаводковых гидротехнических сооружений Забайкальского края / К.А. Курганович. [и др.] // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т.2. Вып. 1. С. 32-43.

5. Территориальная дифференциация водных и наземных геосистем с использованием данных космических сенсоров / А.В. Бочаров [и др.] // Гидрометеорология и экология. 2021. № 65. С.726-737.

6. *Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я.* Оценка динамики зарастания высшими водными растениями акватории эвтрофного водохранилища с использованием спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 1. С. 299–307

7. Review: The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels / R.A. Phillips [et al.] // Biological Conservation. 2016. Vol. 201. P. 169–183 | doi:10.1016/j.biocon.2016.06.017

8. *Сарычев В.С., Сарычев Д.В.* Оценка территориального распределения и численности желны Dryocopus martius в Липецкой области методами дистанционного зондирования // Русский орнитологический журнал. 2020. Т. 29. С.1087–1094.

9. *Anderson K., Gaston K. J.* Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. // Frontiers in Ecology and the Environment. 2013. Vol. 11. P. 138–146. https://doi.org/10.1890/120150

10. Estimation of shallow bathymetry using Sentinel-2 satellite data and random forest machine learning: a case study for Cheonsuman, Hallim, and Samcheok Coastal Seas / Jae-yeop Kwon [et al.] // Journal of Applied Remote Sensing. 2024. Vol. 18, iss. 1. P.138 - 146. https://doi.org/10.1890/120150

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА КУРОРТНЫХ ДЕСТИНАЦИЙ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Г. Н. Собянина[1)], **С. Ю. Мальков**[1)]

[1)] *Научно-исследовательская лаборатория «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет»*
299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, info@sevsu.ru

Статья актуализирует необходимость систематизации и тщательного анализа ключевых факторов, влияющих на сокращение природно-ресурсного потенциала курортных дестинаций Черноморского региона. Установлено, что рекреационные ресурсы акватории и прибрежных территорий Черного моря не соответствует масштабам и объемам потребления. В ходе исследования определены основные факторы, детерминирующие ухудшение качественных характеристик природно-оздоровительных ресурсов Черного моря. Выявлено, что ведущая роль в нарушении природного баланса Черного моря, играет хозяйственная деятельность человека. В статье обсуждается важность системного мониторинга и контроля ресурсной базы акватории и прибрежных территорий Черного моря для обеспечения экологической защищенности курортных дестинаций Крыма.

Ключевые слова: курортные дестинации; экологические риски; курортно-рекреационный потенциал; акватория Черного моря; антропогенное воздействие.

CURRENT ISSUES OF PRESERVING THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF RESORT DESTINATIONS OF THE BLACK SEA COAST

G. N. Sobyanina[1)], **S. Yu. Malkov**[1)]

[1)] *Research Laboratory «Experimental Life Support Systems for Biological Objects» of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University»*
299053, Russia, Sevastopol, Universitetskaya St., 33, info@sevsu.ru

The article actualizes the need for systematization and analysis of key factors influencing the reduction of natural resource potential of resort destinations of the Black Sea region. It has been established that recreational resources of the water area and coastal territories of the Black Sea do not correspond to the scale and volume of consumption. In the course of the study, the main factors determining the deterioration of the quality characteristics of natural and health resources of the Black Sea were determined. It was revealed that the leading role in the violation of the natural balance of the Black Sea is played by human economic activity. The article discusses the importance of systemic monitoring and control of the resource base of the water area and coastal territories of the Black Sea to ensure environmental protection of resort destinations of Crimea.

Keywords: resort destinations; environmental risks; resort and recreational potential; Black Sea waters; anthropogenic impact.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-349-353

На современном этапе развития общества в иерархии ценностей самую высокую ступень занимает здоровье человека, являющееся одним из базовых факторов успешного социального и экономического развития страны [11]. В этой связи, особо пристального внимания требуют территории, обладающие ценными природными рекреационно-оздоровительными ресурсами. Несомненно, одним из самых ярких представителей этого сегмента является Крым с прилегающими к нему территориями. Уникальный природно-климатический и культурно-исторический потенци-

ал полуострова способствует активному развитию туристской отрасли. Не менее важное место в экономике полуострова занимает агропромышленный комплекс, пищевая, химическая и добывающая промышленности [3; 9; 13]. При этом, лечебно-оздоровительная деятельность региона является приоритетной производственной сферой, имеющей первостепенное значение в развитии экономик Крыма и страны, в целом [3; 9]. При сравнении климатических условий этого региона с курортами Черноморско-Средиземноморского региона можно смело утверждать о явном превосходстве лечебно-оздоровительного потенциала полуострова над подавляющим большинством популярных мест отдыха и лечения за рубежом. Курортный профиль республики имеет широкий спектр рекреационных возможностей. Уникальность климата и целебные свойства минеральных ресурсов в сочетании с преформированными физическими факторами делают полуостров незаменимым для лечения и профилактики различных нозологических форм заболеваний. Санаторно-курортная отрасль, традиционно представленная климатотерапией, гелиотерапией талассотерапией, грязелечением и бальнеотерапией, имеет устойчиво высокий спрос у населения [9].

Вместе с тем, приходится констатировать о неуклонном и системном ухудшении количественных и качественных характеристик лечебно-оздоровительных ресурсов полуострова. В настоящее время бассейн Чёрного и связанного с ним Азовского моря подвергаются разнообразным видам загрязнений [3; 14]. К сожалению, одним из самых прискорбных примеров может служить разлив мазута в Керченском проливе вследствие разлома корпусов нефтяных танкеров. Несомненно, масштаб произошедшей в декабре 2024 года катастрофы, имеет серьезное экологическое обременение не только для текущего состояния акватории и прибрежных территорий Черного моря. Безусловно, последствия аварии окажут негативное воздействие и на перспективы развития региона в будущем.

В этой связи, приоритетное значение приобретают экологический аудит и контролинг ресурсов курортно-рекреационной сферы полуострова. Несомненно, для решения этих проблемно-ориентированных задач важна систематизация ключевых факторов, влияющих на сокращение природно-ресурсного потенциала курортных дестинаций Черноморского региона. Учитывая актуальность проблемы, **целью** работы явилось выявление и анализ основных факторов, способствующих значительному снижению природно-ресурсного потенциала курортных регионов Черноморского побережья.

Важно обозначить, что вопросы загрязнения акватории Черного моря и прилегающих к ней территорий уже более полувека не сходят с научной повестки. Несомненно, наблюдающееся негативные изменения морской среды, носят комплексный и многофакторный характер с различной силой и степенью воздействия каждого из них. Прежде всего, экологическая уязвимость Азово-Черноморского бассейна непосредственно связана с особенностями его географии и геологии. Черное море представляет собой глубоководный внутриконтинентальный бассейн со слабым естественным перемешиванием водных масс (без приливов и отливов), способствующим аккумуляции загрязнений, поступающих с прилегающих территорий Турции, России, Украины и стран Западной Европы [3]. При этом, площадь водосборного бассейна Черного моря значительно превышает площадь самого моря, делая его особо уязвимым к негативному влиянию. В результате, экологическая система Черного моря является не способной к полноценному противостоянию экзогенного вмешательства [3; 6; 8].

При этом, интенсивное экономическое развитие и усиленное природопользование на протяжении последних тридцати лет привели к значительной экологической нагрузке на экосистему Черного моря, обусловливая значительные изменения природного состояния морской среды. Неоспоримыми фактами на этот счет являются подтвержденные свидетельства ученых о системном заражении вод ядохимикатами, радионуклидами, тяжёлыми металлами и прочими веществами гетерогенного происхождения [3; 6; 8; 14]. Как и любой другой природный водоем, Черное море обладает компенсаторной способностью, выражающейся в ассимиляции, обезвреживании и переработке нарушающих его баланс веществ. Однако, в соответствии с исследованиями, проведен-

ными в последние годы, отмечается значительное снижение компенсаторного резерва морской среды. Ученые, активно изучающие проблему экологической безопасности акватории Черного моря, все настойчивее говорят о процессах эвтрофикации, способствующей насыщению водной среды биогенными элементами. В свою очередь, рост биологической продуктивности водных бассейнов усиливает образование сероводорода, метана и других токсичных газов. Снижение содержания растворенного кислорода в глубинных слоях посредством разложения мертвого органического вещества усиливает нагрузку на экосистемы как Азовского, так и Черного морей. Вследствие этого, экологическое равновесие флоры и фауны нарушается, приводя к сбою систему регуляции численности определённых видов морской экосистемы [5; 7; 13].

Несомненно, лидирующую роль в нарушении природного баланса Черного моря и прилегающих к нему территорий, играет деятельность человека. Серьезные загрязнения морской среды обеспечивают различные сферы народного хозяйства, широко представленные в акватории Азово-Черноморского бассейна. Значительную часть загрязнения составляют воды, смываемые осадками с полей агропромышленного назначения, представляющие собой концентрированный раствор всевозможных удобрений, пестицидов и промышленных отходов. Превышение объема загрязнений над ассимилирующей способностью морских экосистем, попадание в моря несвойственных им биологических видов, использование природных морских ресурсов в объемах, которые превышают их потенциал, обусловили значительные изменения природного состояния морской среды [6; 7].

Солидный вклад в нарушение экологического равновесия региона вносит морское судоходство и производственная деятельность человека в припортовой зоне. К глубокому сожалению, рыболовецкая отрасль своими мощностями только приближает экологическую катастрофу и без того ослабленной морской среды [8]. Причинами столь негативного воздействия выступают бесконтрольный вылов рыбы, использование деструктивных методов отлова рыбы в акватории. В результате, многолетнее траление приводит к гибели и практически полному уничтожению донных биоценозов и прибрежных биотопов. Так, например, ранее к промысловым видам рыб относилось 26 видов, теперь специалисты насчитывают не более шести. Устойчивая прогрессия верхней сероводородной границы приводит к гибели не только микробиоценоза, но и крупных представителей морской фауны, включая хищных рыб и дельфинов. Водоросли, ранее, встречающиеся на глубине до 80 метров, сегодня на многих участках отсутствуют уже на глубинах свыше 10-15 метров. За последние полвека на шельфе Черного моря произошли существенные изменения запасов макрофитобентоса, детерминированные снижением прозрачности воды, эвтрофикацией, инвазиями чужеродных видов (гребневиком и брюхоногим моллюском). В целом, практически полностью исчезли ассоциации эстеры, общие запасы цистозиры сократились более, чем в 6 раз, запасы филлофоры – в 2 раза. В результате такого бесхозяйственного отношения прибрежная зона Чёрного моря из-за разрушения биотопов постепенно превращается в пустыню, а губительное для биоресурсов придонное траление уничтожает всё живое вокруг [2; 5; 7].

Негативное обременение для экосистемы вносят возведения хозяйственных объектов и сооружений на шельфе и континентальном склоне Черного моря без учета геоэкологических аспектов природопользования. [1; 3; 4; 9; 13]. Источником загрязнения прибрежных вод также являются канализационные сбросы, бытовой мусор и продукты переработки, образующиеся на коммунальных очистных сооружениях. Очевидно, что в сезон прибрежные города и поселки черноморского побережья являются топовыми рекреационными центрами с привлечением большого количества туристов. В результате, количество сточных вод, сбрасываемых в море из населенных пунктов, превышают естественные процессы ассимиляции морской среды [6; 7].

Также важно напомнить, что воды Чёрного моря хранят свидетельства и последствия прошедших войн. В его глубинах находятся неразорвавшиеся снаряды, мины, ёмкости с отравляющими химическими веществами (ипритом, люизитом и др.), утечка которых влечет за собой необратимые последствия, как для экологии региона, в целом, так и для организма человека,

в частности [3]. Помимо контейнеров с отравляющими химическими веществами на дне Черного моря находится много затопленных военных судов с боеприпасами, невзорвавшиеся торпеды, снаряды и бомбы, без сомнения, нуждающиеся в срочном извлечении и обезвреживании.

Актуализацию обозначенной проблемы обеспечивает также активная разработка месторождений углеводородного сырья на черноморском шельфе. Стремление увеличить добычу энергоресурсов в шельфовой и глубоководной зоне Чёрного моря сталкивается с серьёзной проблемой – отсутствием должной экологической безопасности технологических процессов, связанных с извлечением углеводородов. Следует подчеркнуть, что в настоящее время не существует действенных способов, позволяющих полностью исключить загрязнение окружающей среды в процессе добычи углеводородного сырья. Важно осознавать, что производственные процессы, непосредственно связанные с разведкой, бурением, эксплуатацией и консервацией нефтегазовых платформ, неизбежно сопряжены с неблагоприятными последствиями как для акватории, так и для прибрежных территорий Чёрного моря [10; 12]. Так, в процессе скважинных работ в буровых растворах, промывочных жидкостях, шламе и сточных водах в различных формах и сочетаниях активно задействуются химические реагенты различной степени токсичности [10; 12].

При оценке экологических рисков добычи углеводородного сырья на черноморском шельфе, необходимо учитывать, что нефть и нефтепродукты представляют собой сложную многокомпонентную смесь углеводородов, включающих парафины, олефины, нафтены и ароматические соединения. Необходимо помнить также, что в состав нефтепродуктов входят полициклические ароматические соединения, приобретающие высокую токсичную, мутагенную и канцерогенную активности под воздействием температурного фактора [10; 12]. При активном освоении шельфовых месторождений углеводородов источниками негативного воздействия на окружающую среду являются также тяжелые металлы, смолы, полихлорбифенилы, мышьяк, ртуть и другие вредные вещества. В морской среде углеводородное сырьё подвергается различным преобразованиям и становится частью сложных процессов перемещения. Оно может существовать в виде тонкого слоя на поверхности воды, растворяться в ней, смешиваться с другими веществами, а также поглощаться ими. При этом, важно понимать, что загрязнение моря нефтепродуктами носит долгосрочный характер. Нет нужды пояснять, что технологические компоненты жидких и твердых отходов добычи углеводородов оказывают негативное воздействие не только на атмосферный воздух, почву, водные ресурсы и растительный покров, но и на жизнь и здоровье человека. Недостаточная экологическая ориентированность технологических процессов добычи углеводородов провоцирует серьезные сбои в функционировании нервной, кардиореспираторной, мочевыделительной и др. систем организма человека. Высокий процент заболеваемости населения аллергическими, сердечно-сосудистыми, онкологическими и другими заболеваниями, несомненно, приходится увязывать и с деятельностью предприятий нефтяной промышленности.

Настало время осознать, что общее загрязнение Чёрного моря уже достигло сотен тысяч тонн и неуклонно растет с каждым днем. Экологическая система Чёрного моря крайне хрупкая и неустойчивая, требует бережного использования рекреационно-оздоровительных ресурсов, данных природой. Сегодня преступно небрежное потребление уникальной ресурсной базы Крымского региона [1; 2; 3]. Не рачительное расходование природных запасов ведет к истощению ресурсов, авариям и природным катаклизмам, неизбежно завершающимся непредсказуемыми катастрофическими последствиями для жизни и здоровья граждан и нанесениями колоссального экономического ущерба экономике страны. Учитывая специфические особенности экосистемы Крыма, следует уяснить, что к Черному морю и прилегающих к нему территориям нельзя применять общепринятые стандарты. На современном этапе освоение Черноморского региона нуждается в особом подходе. Уникальное место, каковым является Крым, должно быть ограждено от нарастающего негативного антропогенного воздействия [3]. Экологическая система Чёрного моря требует бережного использования рекреационно-оздоровительных ресурсов, данных природой. Для сохранения еще имеющийся уникальной ресурсной

базы важна строгая регламентация хозяйственной деятельности в акватории и береговой зоне черноморского региона. Развитие отраслей народного хозяйства должно осуществляться на основе рационального использования природных запасов региона. Только постоянный мониторинг и контроль природно-оздоровительных ресурсов акватории и прибрежных территорий обеспечат экологическую защищенность курортных дестинаций Крыма.

В завершении, уместно будет привести высказывание В.И. Вернадского: «…человечество далее не может стихийно строить свою историю, а должно согласовывать её с законами биосферы, от которой человек неотделим». Тем самым, все выше изложенное акцентирует внимание общественности страны на жизненной необходимости сохранения природно-ресурсного потенциала Черноморского региона и прилегающих к нему территорий. Современное природопользование должно базироваться исключительно на принципах ноосферного, экологического мировоззрения, предопределяя, тем самым, соблюдение и строгое подчинение потребительских интересов человека более значимым законам природы.

Библиографические ссылки

1. *Агаркова-Лях И. В.* Природные комплексы береговой зоны Южного берега Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. №3. 2015. С.42-58 .

2. *Афанасьев Д. Ф.* Запасы некоторых видов макрофитов на российском шельфе Черного моря: современное состояние, многолетняя динамика и анализ причин изменения // Известия ТИНРО. 2008. №155. С.161-168 .

3. *Багрова Л. А., Пасынков А. А., Позаченюк Е. А., Швец А. Б.* Чёрное море в эпоху глобальных вызовов // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2013. №2-1. С.102-113.

4. *Бекяшев Д. К., Ашуба Д. Б.* Актуальные проблемы международно-правового регулирования экологической безопасности Черного моря // Актуальные проблемы российского права. 2022. №11 (144). С.160-168 .

5. *Беляева О. И.* К вопросу об изучении бактерионейстона в Черном море и других водоемах (обзор) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2010. №2 (62). С.36-40 .

6. *Беляева О. И.* О загрязнении ливневых стоков, поступающих в прибрежную зону Черного моря (обзор) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2012. №2. С.20-27 .

7. *Беляева О. И.* Численность и биомасса бактерий в районе поступления ливневого стока в бухту казачью (Чёрное море) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2011. №2 (63). С.67-72 .

8. *Волкова Т. А.* Мониторинг качества морских вод в припортовых акваториях Цемесской бухты // ТДР. 2011. №4. С. 190-193 .

9. *Гостищева Е. В., Тарасова Е. С., Литвинова С. В.* Рекреационные возможности Республики Крым // ТМБВ. 2018. №3. С.175-179 .

10. *Ильченко А. А.* Углеводородный потенциал и геоэкологическая безопасность Черноморского региона // Вестник науки и образования. 2020. №11-3 (89). С.75-80 .

11. *Исаев А. В.* Кризис здоровьесбережения в современном российском обществе // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки. 2017. №3. С.173-179

12. *Кашия В. Г.* Экологически чистые методы освоения водородосодержащих компонентов Черного моря // АЭЭ. 2004. №2. С.10-14

13. *Кирильчук С. П., Наливайченко Е. В.* Развитие туристско-рекреационного комплекса Крыма // Сервис в России и за рубежом. 2017. №6 (76). С.109-125.

14. *Кудрик И. Д., Ошкадер А. В., Пыцкий Г. Н.* Современные проблемы охраны и использования недр в АР Крым // ГПИМО. 2010. №4. С.85-89

СЕКЦИЯ 6

ФИЛОСОФСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

СКАНДИНАВСКАЯ ХОДЬБА КАК СРЕДСТВО ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ

С. В. Аксенчик[1)], **А. Д. Жак**[1)], **Е. А. Губич**[1)], **К. И. Бетлей**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, svetlanaksenchik@gmail.com*

Скандинавская ходьба в жизни и, в частности, в образовательном процессе – это доступный, эффективный вид физической активности, который активно внедряется в учебный процесс учреждений образований. Выступает как средство для улучшения физических возможностей студентов. Научные исследования подтверждают, что скандинавская ходьба активно стимулирует работу дыхательной и сердечно-сосудистой систем, развивает двигательные качества и мышечную систему. В статье приводятся сравнительные данные изменения физических возможностей студентов, регулярно занимающихся скандинавской ходьбой.

Ключевые слова: скандинавская ходьба; выносливость; физическая активность; студент; тесты.

NORDIC WALKING AS A MEANS TO IMPROVE STUDENTS' PHYSICAL ABILITIES

S. V. Aksenchik[1)], **A. D. Zhak**[1)], **E. A. Hubich**[1)], **K. I. Betley**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str,23/1, 220070, Minsk, Belarus, svetlanaksenchik@gmail.com, alesya_prakaten@mail.ru, kseniabetlei21@gmail.com, 3981eva@gmail.com*

Nordic walking in life and, in particular, in the educational process is an affordable, effective type of physical activity that is actively being introduced into the educational process of educational institutions. It acts as a means to improve students' physical abilities. Scientific studies confirm that Nordic walking actively stimulates the work of the respiratory and cardiovascular systems, develops motor qualities and the muscular system. The article provides comparative data on changes in the physical abilities of students who regularly practice Nordic walking.

Keywords: nordic walking; endurance; physical activity; student; tests.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-354-359

Скандинавская ходьба универсальна – нагрузки здесь легко дозируются в зависимости от возраста и физического состояния человека. Рассматривая влияние на сердечно-сосудистую систему, то можно отметить такие эффекты как: укрепление мышцы сердца; увеличение размера сердца; улучшение возможности накачивания сердца; уменьшение кровяного давления; снижение пульса (оптимизация работы сердца) и др. [1].

Говоря о эффектах, оказываемых на дыхательную систему, то важно упомянуть такие эффекты как: увеличение объема легких на 30 % и укрепление мышц, задействованных при ды-

хании; улучшение работы легких по усвоению кислорода; улучшение транспортировки кислорода кровеносными телам [2].

Мышцы, связки, суставы, кости: увеличение мышц всего тела; укрепление мышц спины и живота; лучшее обеспечение крови к мышцам; тренировка «проблемных» мышц. Нервно-иммунная система: улучшение координации; улучшение сна; укрепление иммунной системы; улучшение кровяного снабжения мозга; отрицательная энергия стресса превращается в положительную [3].

За улучшение координации и равновесия отвечает вестибулярный аппарат, который активно тренируется на занятиях. Повышается дыхательная ёмкость легких не менее чем на 30 % в сравнении со стандартным шагом [4].

На сегодняшний день молодое поколение неоднократно сталкивается с многими проблемами. Это связано, в основном, с малоподвижным образом жизни, несбалансированным питанием и психоэмоциональной нагрузкой, в частности, стрессом [5]. На основе вышеизложенного, мы можем сделать вывод о прямом влиянии данного вида спорта на улучшение физических возможностей студентов.

Исследование проводилось на базе Международного государственного экологического института имени А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета с сентября 2022 по декабрь 2024 года. В качестве испытуемых выступили обучающиеся данного учреждения образования в количестве 40 человек. Отметим, что данные обследуемые составили две группы: контрольную и экспериментальную. В контрольную группу (n=20) вошли студенты, у которых занятия проходили по обычной, традиционной программе обучения и воспитания, реализуемой в данном учреждении. Экспериментальная группа (n=20), в свою очередь, которая с сентября 2022 года регулярно занимались скандинавской ходьбой, включенную в учебную программу, согласно разработанной научно-методической составляющей для данного вида спорта Занятия проводились 2 раза в неделю по 80 минут. В данном исследовании оценивались состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем

Данные исследования контрольной группы, которые занимались физической активностью по программе, включающей в себя дисциплины гимнастики, легкой атлетики, волейбола и баскетбола представлены в виде диаграммы (рис.1) и таблицы (табл.1). Для сравнения пробы Штанге были взяты следующие данные: больше 80 секунд – 10 % студентов первого курса, 65 секунд – 70 %, меньше 40 секунд – 20 %. На третьем курсе ситуация немного изменилась в лучшую сторону: больше 80 секунд – 30 %, 65 секунд – 60 %, меньше 40 секунд – 10 %.

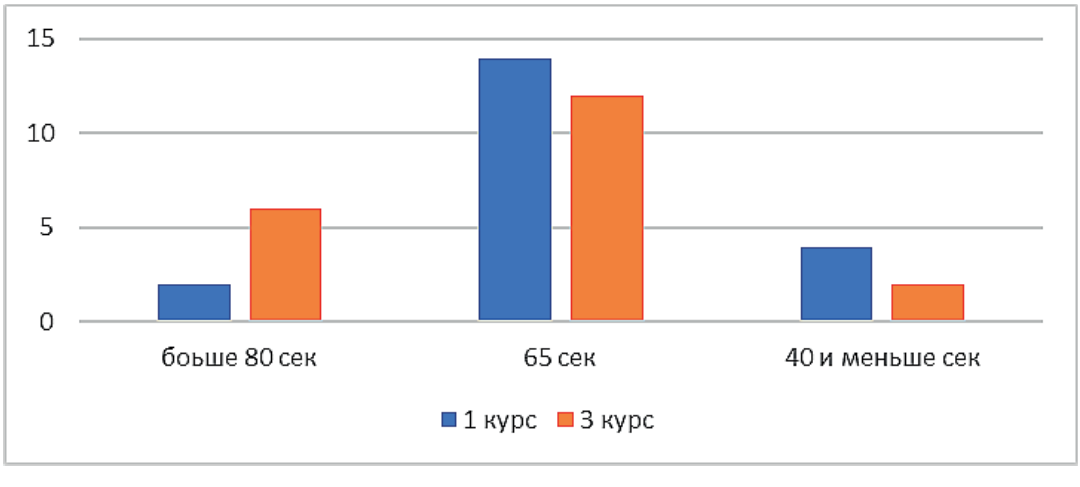


Рис. 1. Сравнительные показатели пробы Штанге контрольной группы

Таблица 1

Показатели ЧСС и результаты сдачи норматива по бегу контрольной группы

№ студента	ЧСС 1 курс	ЧСС 3 курс	500 метров 1 курс, сек	500 метров 3 курс, сек
1.	96	94	2.80	2.78
2.	101	95	3.34	3.19
3.	94	91	3.87	3.73
4.	89	86	3.91	3.72
5.	93	90	2.61	2.59
6.	88	89	2.96	2.99
7.	99	95	2.54	2.51
8.	100	98	2.78	2.75
9.	91	90	2.84	2.80
10.	85	87	2.33	2.27
11.	94	92	2.21	2.20
12.	82	84	2.20	2.13
13.	93	90	2.46	2.47
14.	96	92	3.20	3.15
15.	83	85	2.33	2.30
16.	91	90	3.22	3.11
17.	92	91	2.26	2.22
18.	99	95	2.83	2.78
19.	89	92	2.11	2.12
20.	91	88	2.17	2.16
Средний показатель	92.3	90.7	2.75	2.70

Анализ данных на основе сравнения по t-критерию Стьюдента показал значительную разницу в данных контрольной группы между частотой сердечных сокращений на 1-ом и 3-ем курсах.

На 3-ем курсе прослеживается нормализация частоты сердечных сокращений у участников исследуемой студенческой группы (различия достоверны (рис.2) на высоком уровне значимости, $p < 0{,}01$, где $t=3$).

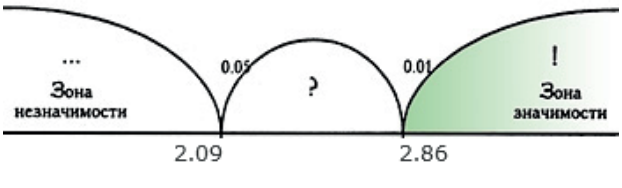


Рис. 2. Ось значимости. Полученное эмпирическое значение t (3) находится в зоне значимости.

Незначительно снижение времени преодоления (рис.3) нормативной дистанции в 500 метров студентами не указывает на положительную динамику выносливости (различия не являются достоверными на высоком уровне значимости, $p < 0{,}01$, где $t=0.3$). Положительная динамика показателей частоты сердечных сокращений в сторону границ нормы у участников исследуемой студенческой группы, посещающих занятия физической культурой два раза в неделю, свидетельствует об эффективности использования данного методического плана для улучшения характеристик сердечно-сосудистой системы.

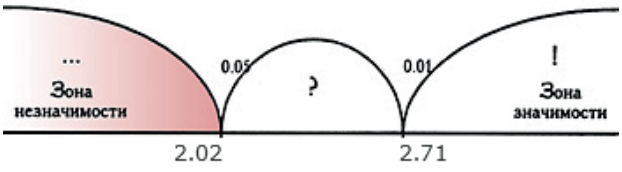


Рис. 3. Ось значимости. Полученное эмпирическое значение t (0.3) находится в зоне незначимости

Далее будет приведена сравнительная характеристика данных эмпирических исследований экспериментальной группы (табл. 2), полученных в ходе измерения частоты сердечных сокращений и норматива по бегу 500 метров у исследуемой группы на 1-ом и на 3-ем курсе обучения в виде таблицы. Также далее приведены диаграммы сравнения показателей пробы Штанге. Для сравнения пробы Штанге (рис. 4), были взяты следующие данные: больше 80 секунд – 30 % студентов первого курса, 65 секунд – 50 %, меньше 40 секунд – 20 %. На третьем курсе ситуация изменилась в лучшую сторону: больше 80 секунд – 70 %, 65 секунд – 20 %, меньше 40 секунд – 10 %.

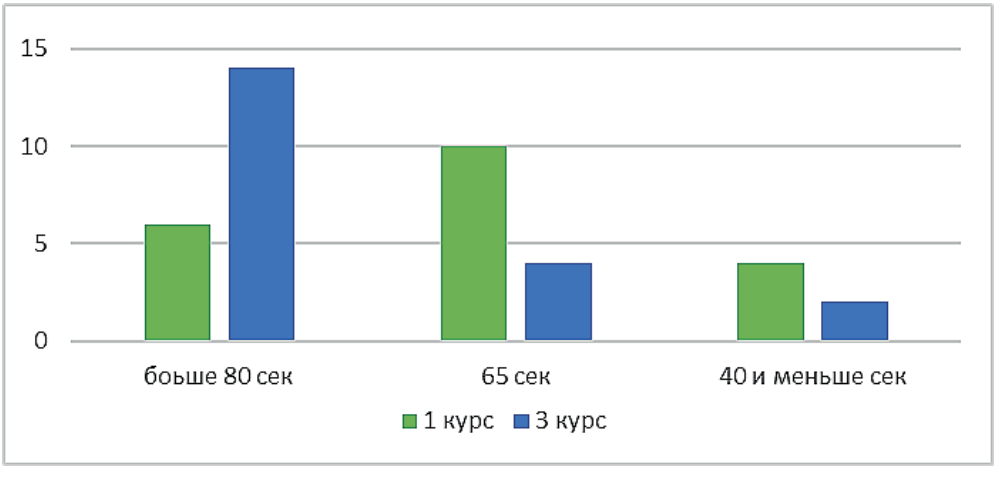


Рис. 4. Сравнительные показатели пробы Штанге экспериментальной группы

Таблица 2

Показатели ЧСС и результаты сдачи норматива по бегу экспериментальной группы

№ студента	ЧСС 1 курс	ЧСС 3 курс	500 метров 1 курс, мин	500 метров 3 курс, мин
1.	90	85	2.55	2.35
2.	102	90	2.45	2.22
3.	93	82	3.16	2.50
4.	110	90	3.08	2.48
5.	96	78	2.46	2.33
6.	74	83	2.43	2.25
7.	104	84	2.33	2.28
8.	89	77	2.30	2.15
9.	98	81	2.40	2.21
10.	106	92	2.56	2.34
11.	91	86	2.20	2.15
12.	101	89	2.22	2.14
13.	94	83	3.00	2.48

Окончание табл. 2

№ студента	ЧСС 1 курс	ЧСС 3 курс	500 метров 1 курс, мин	500 метров 3 курс, мин
14.	108	87	2.49	2.39
15.	79	90	2.51	2.46
16.	102	92	2.47	2.34
17.	91	86	2.15	2.15
18.	96	79	2.18	2.14
19.	104	86	3.00	2.47
20.	90	90	2.10	2.10
Средний показатель	95,9	85,5	2.502	2.2965

Анализ данных на основе сравнения по t-критерию Стьюдента показал значительную разницу в данных между частотой сердечных сокращений на 1-ом и 3-ем курсах.

На 3-ем курсе прослеживается нормализация частоты сердечных сокращений у участников исследуемой студенческой группы (различия достоверны (рис.5) на высоком уровне значимости, $p < 0{,}01$, где $t=5{,}1$).

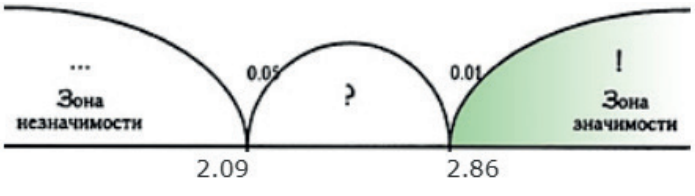


Рис. 5. Ось значимости. Полученное эмпирическое значение t (4.4) находится в зоне значимости

Положительная динамика показателей частоты сердечных сокращений в сторону границ нормы у участников исследуемой студенческой группы, посещающих занятия физической культурой по скандинавской ходьбе два раза в неделю, свидетельствует об эффективности использования данного вида спорта для улучшения характеристик сердечно-сосудистой системы. Снижение времени преодоления нормативной дистанции в 500 метров студентами указывает на положительную динамику выносливости (различия достоверны (рис.6) на высоком уровне значимости, $p < 0{,}01$, где $t=5{,}1$). Так же наблюдается прямо пропорциональное увеличение объема легких к систематическому посещению занятий, что позволяет нам сделать вывод, что данный вид физической активности благоприятно влияет на объем легких и общее состояние здоровья.

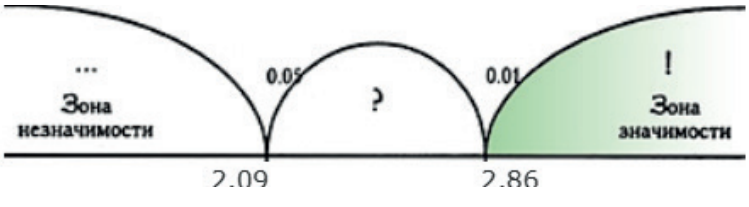


Рис. 6. Ось значимости. Полученное эмпирическое значение t (5.1) находится в зоне значимости

На основе вышеизложенных результатов исследований, мы можем сделать вывод о том, что скандинавская ходьба является эффективным средством для улучшения физических возможностей: развития выносливости, нормализации частоты сердечных сокращений у студенческой молодежи. Достоверные и значимые различия между исходными показателями студентов подтверждает результативность занятий скандинавской ходьбой.

Библиографические ссылки

1. *Кибардин, Г. М.* Скандинавская ходьба лечит. Москва. ООО Издательство «Э», 2018 г. 128 с.

2. Seong, D. P. The effects of Nordic and general walking on depression disorder patients' depression, sleep, and body composition / D. P. Seong, H.U. Seong. The Society of Physical Therapy Science. 2015. Vol. 27. No. 8. p. 2481–2485.

3. *Кизько, А. П.* Физическая культура. Теоретический курс: учеб. пособие / А. П. Кизько, Л. Г. Забелина, Е. А. Кизько. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. 128 с.

4. *Аксенчик, С. В.* Влияние занятий скандинавской ходьбой на физическое состояние студентов / Сахаровские чтения 2020 года: : экологические проблемы XXI века: материалы 20-й международной научной конференции, 21-22 мая 2020 г., Минск, Республика Беларусь, с. 115-117.

5. *Аксенчик, С. В.* Применение средств скандинавской ходьбы на занятиях физической культуры в учреждении высшего образования / С. В. Аксенчик // Фестиваль университетской науки – 2023 учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры» // «Система подготовки научно-педагогических кадров в сфере физической культуры и спорта»: материалы круглого стола научно-педагогической школы профессора М.Е. Кобринского, с. 5-12;

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ В ЦЕЛЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

О. А. Антонович[1)], **Т. В. Бучукова**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, oks.antonovich@gmail.com*

Адаптация студентов-иностранцев к процессу обучения на русском языке – актуальная проблема в свете увеличения экспорта образовательных услуг в Республике Беларусь. Представление об общем уровне подготовки студентов-иностранцев позволяет найти методические подходы для увеличения эффективности процесса обучения в высшем учебном заведении. Исследованы направления образовательных реформ в Туркменистане за период независимости этой страны, которыми обусловлены базовые компетенции студентов, обучающихся на специальности «Информационные технологии». Предложены направления методической работы с такими студентами.

Ключевые слова: адаптация студентов-иностранцев; базовые компетенции студентов из Туркменистана.

ANALYSING CORE COMPETENCIES OF INTERNATIONAL STUDENTS TO IMPROVE ACADEMIC PERFORMANCE

O. A. Antonovich[1)], **T. V. Buchukova**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, oks.antonovich@gmail.com*

The adaptation of international students to the Russian-language learning process has become increasingly important due to the expansion of educational service exports in Belarus. Understanding the overall level of international students' preparedness enables us to find methodological approaches to increase the efficiency of the learning process at higher education institutions. The directions of educational reforms in Turkmenistan over the period of its independence were examined, determining the core competencies of students studying Information Technology. Methodological approaches for working with these students are proposed.

Keywords: adaptation of international students; core competencies of students from Turkmenistan.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-360-364

В Республике Беларусь ежегодно увеличивается экспорт образовательных услуг, что позволяет не только привлечь в страну дополнительные денежные средства, но и повысить престиж белорусского образования, улучшить взаимодействие между вузами дружественных стран, развивая сотрудничество в научной и педагогической деятельности. Иностранные студенты, обучаясь в белорусских институтах и университетах, проникаются культурой и традициями нашей страны, что позволяет им в своей дальнейшей профессиональной деятельности становиться проводниками межнациональной и межгосударственной коммуникации.

В белорусском законодательстве прописаны четкие и прозрачные процедуры получения разрешительных документов для иностранных студентов, что делает процесс поступления и обучения привлекательным для иностранных студентов. Приняты меры для социальной интеграции и адаптации иностранных студентов, что способствует их комфортному пребыванию в стране. Национальное миграционное законодательство регулирует вопросы пребывания иностранных граждан, создавая благоприятные условия для их учебы. Совершенствование

миграционного и образовательного законодательства продолжает расширять образовательные возможности страны, продвигая белорусские традиционные ценности и укрепляя финансовую базу учебных заведений.

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь численность студентов, иностранных граждан, в учреждениях высшего образования постоянно растет. Так на начало 2010-2011 учебного года таких студентов было 9357 человек (2,1 % от общего количества обучающих в высших учебных заведениях республики), в 2020-2021 учебном году 18927 (7,4 %), на начало 2024-2025 года в нашей республике учится уже более 30 тысяч иностранных студентов. Согласно данным Министерства иностранных дел Беларуси, более 6500 студентов из Туркменистана обучаются в белорусских учебных заведениях. С учетом создаваемых благоприятных условий для обучения и проживания таких студентов, а также заключения межвузовских и межгосударственных договоров, количество студентов-иностранцев будет увеличиваться. Такой прогноз делает актуальными исследования, посвященные проблемам адаптации таких студентов к социокультурным условиям, а также к процессу обучения на русском языке, уровень владения которым у них не всегда оказывается достаточным для должного понимания, излагаемого на лекциях и практических занятиях изучаемого материала.

Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова БГУ имеет многолетний опыт международного сотрудничества и продолжает развивать свою международную деятельность. В настоящее время наибольшее количество иностранных студентов, которые обучаются на дневном отделении первой ступени обучения приходится на студентов из Туркменистана.

Цель данной статьи – анализ особенностей организации процесса обучения студентов из этой страны по специальности «Информационные технологии» на примере МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ для выявления путей совершенствования учебного процесса и вовлечение в него всех студентов. В рамках этой цели можно выделить следующие задачи:

– провести анализ факторов, которые влияют на эффективность процесса обучения студентов из Туркменистана;

– сформулировать основные проблемы, которые необходимо решить для повышения качества обучения и предложить подходы к организации учебного процесса на лекционных и практических занятиях по основным дисциплинам специальности «Информационные технологии» для решения этих проблем.

Вопросы адаптации иностранных студентов и включение их в образовательный процесс на сегодняшний день исследуются в белорусских вузах с учетом как своего опыта, так и опыта российских коллег, которые сталкиваются с аналогичными проблемами. Так, например, профессор Миклуш В. П. Белорусского государственного аграрного университета в решении данной проблемы опирается на имеющийся еще со времен существования Советского Союза опыт обучения иностранных студентов и предлагает в процессе обучения опираться на дополнительные адаптированные методические разработки к практическим занятиям, а также на использование специальных электронных учебных пособий [1]. В Гомельском государственном техническом университете имени П. О. Сухого, принимая во внимание особенности обучающихся студентов, делают акцент на использовании мультимедийных технологий для визуализации излагаемого материала [2].

Представляет интерес исследование, проведенное доцентом кафедры общеобразовательных дисциплин Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники Петровой Н. Е. в соавтортве со студенткой из Туркменистана Бурыевой Э. О., в котором исследуется вопрос развития терминологии в области информатики в туркменском языке [3]. Приводятся примеры неоднозначного перевода, т.к. отдельные термины переводятся словами, которые хоть и являются в первую очередь заимствованиями из английского языка, но в тур-

кменский язык приходят чаще всего через русский язык и созвучны русским терминам. Кроме того, в туркменском языке присутствует также терминология, в которой понятия обозначены с использованием внутренних ресурсов туркменского языка, а также функционируют и туркменский и заимствованный вариант термина. На такую вариативность необходимо указать студентам, если они планируют использовать перевод учебных материалов на родной язык, а также в своей дальнейшей работе в своей стране.

Очевидно, что процесс обучения студентов-иностранцев в Республике Беларусь не изолирован от внешней социально-культурной среды, адаптация к которой является одним из факторов успешности процесса обучения. С другой стороны, необходимо понимать особенности региона, из которого прибыли студенты, их уровень языковой, математической подготовки, а также наличие базовых навыков владения современной компьютерной техникой, основными программными продуктами и приложениями. Значительная часть студентов из Туркменистана поступают в белорусские вузы, минуя подготовительные курсы для иностранных граждан. Это означает, что они начинают обучение в вузах, пропуская этапы языковой адаптации и погружения в белорусскую национально-культурную среду.

Для получения информации об образовательном и социально-демографическом профиле контингента студентов-иностранцев, поступивших в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ в 2023, 2024 годах на специальность «Информационные технологии» были проведены опросы, на основании которых получены ниже следующие результаты, касающиеся возрастного диапазона, сроков окончания школы и места жительства студентов, а также уровня владения русским языком, компьютерной грамотностью и уровнем подготовки к обучению в вузе.

Возрастной диапазон студентов разнообразный: 25,8 % студентов поступили в возрасте 17-18 лет, 12,9 % – 19-20 лет, 38,7 % – 21-22 года, 16,1 % – 23-24 года, а остальные 6,5 % – старше 25 лет. После окончания школы у 40 % студентов прошло не более года, у 26,7 % – не более трех лет, а у 33,3 % – более пяти лет. Эти показатели очень важны, т.к. после обретения Туркменистаном независимости в 1991 году в стране прошла реформа образования, в результате которой средние школы были переведены с десятилетней на девятилетнюю программу обучения, туркменский алфавит с кириллицы был переведен на латинскую графику, существенно были сокращены объемы преподавания школьных предметов. Начался перевод практически всех учебных заведений на туркменский язык, что привело к тому, что многие преподаватели, которые плохо владели этим языком, были вынуждены уволится. Усугубляло ситуацию еще и то, что учащихся ежегодно отрывали от учебного процесса на три месяца для сбора урожая хлопка, что еще более сокращало реальное время обучения. Только в 2013/2014 учебном году было ведено двенадцатилетнее общее среднее образование, увеличилось количество часов, отводимых на обучение математике, информатике, иностранным языкам. В 2012 г. были открыты 114 новых школ не только в городах, но и в сельской местности. В последние годы была улучшена материально-техническая база, школы начали оснащаться компьютерами, ноутбуками и интерактивными досками. Однако распределение ресурсов происходит избирательно, и многие школы не имеют в достаточном количестве необходимого оборудования. Учителя зачастую не обладают достаточной подготовкой в области информационных технологий и в ряде регионов отсутствует доступ к интернету.

Важным показателем уровня подготовки студентов является место их проживания, поскольку для сельских жителей в Туркменистане ограничен доступ к качественным учебным материалам и библиотекам, имеется меньшее количество квалифицированных учителей, отсутствует интернет и доступ к компьютерной технике даже на уроках информатики, что сказывается на качестве подготовки абитуриентов для прохождения обучения в вузе. Среди студентов, поступивших на специальность «Информационные технологии», более половины, а именно 63,3 %, проживали в сельской местности, что объясняет низкий уровень владения

базовыми компьютерными технологиями. Как показал опрос, у 93,9 % студентов информатика преподавалась в школе, но только 87,9 % из них использовали компьютер в процессе обучения. При этом только 15,2 % студентов оценивают свой уровень владения компьютерными технологиями как высокий, 78,8 % – как средний. Основными офисными пакетами владеют 46 % опрошенных студентов, с операционной системой MS Windows знакомы 12,1 %, и 9,1 % не изучали никаких программ. Эти данные позволяют сделать вывод, что обучение таких студентов требует особых методических подходов.

Не менее важным является вопрос языковой подготовки студентов, т.к. они сразу зачисляются на первый курс. По оценке самих студентов, только 9,1 % от всех обучающихся считают, что свободно говорят на русском языке, как правило, это выпускники русскоязычных классов, 48,5 % считают, что понимают русский язык хорошо, но не всегда могут высказаться на нем, а 39,4 % испытывают трудности при устном общении на русском языке. Такие студенты неизбежно сталкиваются с серьезными трудностями в освоении учебного материала. Преодолеть их могут только те, кто обладает настойчивостью и готовностью упорно работать. Известно, что после обретения независимости в 1991 году, в Туркменистане проводилась политика дерусификации, в 1998 году было прекращено вещание российского телевидения, а также ограничено использование русского языка в системе образования. Русский язык сохранялся в семейных и разговорных сферах, особенно в Ашхабаде. Новое поколение молодых людей, особенно из состоятельных семей, и талантливая молодежь, обучаются на английском языке в европейских университетах и в учебных заведениях, которые созданы в центральноазиатских республиках западными странами. Начиная с 2010-го года в Туркменистане возобновилось изучение русского языка в школах как иностранного наряду с английским. Родители стремятся отдать детей в русскоязычные классы [4]. Однако ограниченное количество учебных часов затрудняет овладение навыками письма и аудирования. Согласно тестирования, 29 % студентов из Туркменистана начали изучать русский язык в 7 лет, а более половины студентов (51,6 %) приступили к изучению русского языка в 10 лет. Есть также 6,5 % студентов, которые никогда не изучали русский язык.

Высшее образование на русском языке пользуется уважением в Туркменистане, дает перспективы для карьерного роста. Туркменские абитуриенты проходят республиканские конкурсы, чтобы учиться за границей. В этой ситуации для белорусского образования важно оставаться конкурентоспособным и привлекательным. Согласно результатам опроса, 54,5 % студентов, в настоящий момент обучающихся на специальности Информационные технологии, намерены вернуться в Туркменистан и работать там после получения высшего образования.

Принимая во внимание полученные результаты исследований, а также опираясь на имеющийся собственный опыт вуза и опыт коллег из других вузов Беларуси и России, где ведется обучение на русском языке студентов, которые изучали русский язык как иностранный, можно предложить следующие направления работы по усовершенствованию учебного процесса в группах, целиком состоящих из иностранных студентов, а также в группах, где число студентов-иностранцев составляет от 3 % до 30 % от общей численности группы. Рекомендуется упрощение языка методических материалов, использование простых понятных формулировок, избегание сложных оборотов, канцеляризмов и жаргона. Определения новых терминов должны быть простыми, четкими, с поясняющими примерами. В начале курса можно предоставить список основных терминов с переводом на туркменский язык. Регулярно возвращаться к основным понятиям, используя устные вопросы, тесты, задания. Контроль за усвоением нового материала рекомендуется проводить в виде тестов. Возможно применение в процессе обучения учебных видеоматериалов с субтитрами на русском языке. При изучении сложных тем, допускается использование онлайн-переводчиков и Telegram-ботов для перевода технических терминов.

Хорошо зарекомендовало себя применение практико-ориентированного подхода, когда меньше теории, а больше кодирования, причем с примерами кода, который содержит комментарии на русском языке в достаточном количестве. Для туркменских студентов имеется положительный опыт работы в группах, где можно объединить студентов с разным уровнем владения русским языком. Нами были разработаны задания, позволяющие повторить или изначально усвоить навыки работы в среде Visual Studio, чтобы от простых задач переходить к основным задачам курса, и такой подход показал свою эффективность.

Такие направления методической работы преподавателя могут помочь иностранным студентам, при наличии стремления с их стороны, освоить дисциплины специальности «Информационные технологии».

Библиографические ссылки

1. *Миклуш В. П., Романюк Н. Н., Вольский А. Л.* Особенности адаптации иностранных студентов к обучению в аграрном университете (на примере факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ) // Зарубежное научное сотрудничество: опыт и возможности аграрных вузов: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 17-18 мая 2012 года. Минск: БГАТУ, 2012. С. 28-30.

2. *Савенко Т. В.* Особенности организации обучения иностранных студентов // Проблемы современного образования в техническом вузе : материалы VI Междунар. науч.-метод. конф., Гомель, 24–25 окт. 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого; под общ. ред. А. В. Сычева. Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. С. 232-234.

3. *Петрова Н. Е., Бурыева Э. О.* О некоторых аспектах изучения туркменской терминологии в сфере информатики и вычислительной техники // Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути : матеріали XI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Київ, 11 грудня 2020 р. / Наукова платформа Open Science Laboratory. Київ, 2020. С. 624–629.

4. *Старчик М. В.* Образование на русском языке в государствах Центральной Азии – членах СНГ: проблемы и пути решения // Проблемы национальной стратегии. 2010, №3(4). С. 52-65.

ВЛИЯНИЕ ЗАНЯТИЙ ПИЛАТЕСОМ НА РАЗВИТИЕ СИЛОВЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ

Н. А. Гришанович[1)], **М. М. Круталевич**[1)], **О. Н. Онищук**[1)], **П. Г. Сыманович**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, ft@ iseu.by, 220070, г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Силовые способности необходимы человеку в повседневной жизни для выполнения различных движений и преодоления сопротивлений, поддержания правильной осанки, укрепления всего организма. Анализ литературных источников свидетельствует о положительном влиянии занятий пилатесом и на развитие силовых способностей человека. В статье рассмотрено воздействие регулярных занятий пилатесом на развитие силовых способностей студенток, доказана эффективность применения данной системы в результате проведения педагогического эксперимента.

Ключевые слова: пилатес; студенты; занятия; силовые способности; тестирование; педагогический эксперимент.

EFFECT OF PILATES TRAINING ON THE DEVELOPMENT OF STRENGTH CAPABILITIES IN STUDENTS

N. A. Grishanovich[1)], **M. M. Krutalevich**[1)], **O. N. Onishchuk**[1)], **P. G. Symanovich**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, ft@ iseu.by, 220070, Minsk, Belarus*

Abstract. Strength abilities are necessary for a person in everyday life to perform various movements and overcome resistance, maintain correct posture, strengthen the entire body. The analysis of literary sources indicates a positive effect of Pilates classes on the development of human strength abilities. The article examines the impact of regular Pilates classes on the development of strength abilities of female students, and proves the effectiveness of this system as a result of a pedagogical experiment.

Keywords: Pilates; students; classes; strength abilities; testing; pedagogical experiment.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-365-368

Проблема сохранения и укрепления здоровья студенческой молодежи является в настоящее время наиболее актуальной. Высокий уровень умственных и психологических нагрузок, которые испытывают студенты во время процесса обучения, приводит к увеличению числа обучающихся, имеющих отклонения в состоянии здоровья. Длительное пребывание в сидячем положении в аудитории приводит к хронической усталости, болях в спине, искривлению осанки. Слабый мышечный корсет не позволяет удерживать позвоночник в правильной рабочем положении, что приводит к изменению физиологических изгибов позвоночника. В этой связи важной задачей на занятиях по физической культуре со студентами является развитие силовых способностей как приоритетных в укреплении мышечного корсета и поддержании позвоночника в правильном положении [2].

Для развития силовых способностей студентов не обязательно выполнять упражнения с отягощениями, используя, например, гантели и гири. Фитнес-технология пилатес предлагает различные комплексы упражнений на развитие силовых способностей занимающихся с собственным весом тела, без использования оборудования [1]. Это значит, что фитнесс-техно-

логия пилатес является универсальной и эффективной для развития силовых способностей студентов. В этой связи поставлена ***цель исследования*** – изучить влияние занятий пилатесом на развитие силовых способностей студентов.

Методы исследования – анализ и обобщение литературных источников, педагогический эксперимент, тестирование силовых способностей, методы математической статистики.

Результаты исследования и их обсуждение. Любые мышечные движения представляют собой результат работы двигательного аппарата и центральной нервной системы. Безусловно, активной частью двигательного аппарата являются мышечная система. Выполняя любые необходимые в нашей жизни движения, мы вынуждены прикладывать определенную физическую силу. Мышечная сила – это способность человека преодолевать внешнее сопротивление или противодействовать ему за счет мышечных усилий. Важным моментом при этом является режим работы мышц. При помощи силовой нагрузки можно сократить избыточную часть тела, укрепить ткани организма, улучшить осанку и повысить тонус в мышцах. Развитием силовых способностей корректируется осанка за счет повышения тонуса мышц. Мышцам легче удерживать необходимое положение, происходит укрепление связок и сухожилий. Однако для получения нужного эффекта необходимы систематичные и регулярные занятия. Так же эффективность занятий зависит и от подбора упражнений, интенсивности их выполнения.

Упражнения пилатеса сосредоточены на улучшении мышечной силы организма в целом, а также на укреплении мышц кора, которые особенно важны для поддержания правильной осанки [7]. Эти упражнения отличаются своей уникальной методикой, которая включает в себя выполнение контролируемых и точных движений. Такой подход требует от практикующего активного вовлечения различных мышечных групп, что способствует более глубокому и эффективному воздействию на тело [4].

Например, при выполнении упражнений на укрепление мышц живота («пилатес-прокат» или «скручивание») акцент делается на активацию поперечной мышцы живота и других глубоких мышц кора. Это позволяет не только укрепить мышечный тонус, но и улучшить общую стабильность корпуса, что крайне важно для поддержания правильной осанки и предотвращения болей в спине. Кроме того, использование упражнений «плавание» или «плуг» содействуют укреплению многофункциональных мышц спины, которые играют важную роль в поддержании вертикального положения тела и защиты позвоночника от перегрузок. Такие движения требуют концентрации и точности, а это способствует развитию осознанности и контроля над своим телом. Практикуя пилатес, занимающийся учится не только выполнять движения, но и чувствовать, какие мышцы активируются, что ведет к улучшению межкоординационных мышечных связей, т.е. улучшению силовых способностей [5].

Использование на занятиях по физической культуре со студентами фитнес-технологии пилатес, обладающей высокой степенью воздействия на функциональное состояние и физические способности занимающихся, содействует улучшению осанки, укреплению мышц пресса, нижней части спины, бедер, ягодичных мышц, что в комплексе позволяет удерживать позвоночник в правильном положении. Пилатес является уникальной системой физических упражнений, позволяющей развить силовые способности и тем самым улучшить функциональное состояние опорно-двигательного аппарата занимающихся [3].

Для подтверждения эффективности применения упражнений пилатеса на факультативных занятий по физической культуре со студентами был проведен педагогический эксперимент в спортивном зале учебного корпуса МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ г. Минска. В нем приняло участие 15 студентов в возрасте 18–20 лет. Они занимались на факультативных занятиях пилатесом 2 раза в неделю по 80 минут на протяжении семестра (февраль – май 2024).

Для измерения силовых способностей использовались различные тесты. Среди них наиболее популярными явились поднимание туловище из положения лежа на спине и кистевая динамометрия.

Тестовое задание *поднимание туловища из положения лежа на спине* позволяет измерить преимущественно силу мышц брюшного пресса. Данное задание выполняется на гимнастическом коврике из положения лежа на спине, ноги согнуты в коленях, угол сгиба между голенью и бедром – прямой, руки расположены перед собой скрестно на плечах. Партнеру необходимо зафиксировать ноги в голеностопных суставах. Испытуемый выполняет полный подъем туловища до касания локтями коленей. Подсчитывается количество выполнений за 1 минуту [6].

Кистевая динамометрия – это метод исследования, с помощью которого можно выявить силу мышц кисти правой и левой руки. Она проводится с использованием специального прибора – ручного динамометра, внутри которого находится пружина из металла, соединенная со стрелкой, которая показывает величину мышечной силы на специальной шкале, градация которой выражена в килограммах. Исследуемый выполняет динамометрию из исходного положения стоя, рука вытянута в сторону. Сгибание кисти следует проводить постепенно до возможного максимального усилия. Измерение выполняется несколько раз отдельно для правой и левой руки, при этом фиксируется максимальное значение для каждой руки отдельно.

В результате проведения тестирования силовых способностей до и после педагогического эксперимента были получены эмпирические данные, которые в дальнейшем подверглись статистическому анализу.

В таблице 1 представлены результаты педагогического тестирования оценки силы мышц рук исследуемой группы.

Таблица 1

Результаты педагогического тестирования максимальной силы рук исследуемых студентов

Проведение тестирования	Показатели кистевой динамометрии, кг*	
	Правая рука	Левая рука
до эксперимента	21,50±1,25	18,50±1,10
после эксперимента	25,50±1,20*	20,09±1,30

*Достоверные различия (P<0,05) между данными, полученными до и после эксперимента.

Из представленных данных следует, что средний показатель силы мышц до начала исследования составил 21,5 кг (таблица 1). После проведения исследования этот показатель увеличился до 25,5 кг. Статистический анализ показал, что разница между значениями до и после исследования в этой группе является значимой, так как P-значение составило менее 0,05. Средний показатель силы мышц левой руки до начала исследования составил 18,5 кг. После проведения эксперимента этот показатель увеличился до 20,09 кг. Однако, несмотря на наблюдаемое увеличение силы мышц левой руки у студентов, статистический анализ показал, что разница между значениями до и после исследования не является значимой, так как P-значение превышает 0,05.

Таким образом, результаты, представленные в таблице 1, демонстрируют, что произошло статистически значимое увеличение показателя силы мышц правой руки. Возможно для получения лучших результатов тестирования силы мышц левой руки необходимо более длительное и (или) интенсивное воздействие занятий по системе пилатес.

В таблице 2 представлены результаты педагогического тестирования оценки силовых способностей исследуемых, полученные при выполнении задания «поднимание туловища из положения лежа на спине».

Таблица 2

Результаты педагогического тестирования силы мышц туловища исследуемых студентов

Поднимание туловища из положения лежа на спине, к-во раз		Достоверные различия
до эксперимента	после эксперимента	
38,1±2,10	45,7±3,50	P<0,05

Средний показатель силовых способностей до начала исследования составил 38,1 подъемов туловища. После проведения педагогического эксперимента этот показатель увеличился до 45,7. Статистический анализ показал, что разница между значениями до и после исследования является значимой. То есть в результате занятий пилатесом у студенток экспериментальной группы улучшились силовые способности мышц брюшного пресса.

Выводы. Анализ результатов тестирования, выполненных до и после проведения педагогического эксперимента с использованием упражнений по системе пилатес позволил сделать вывод, что данные занятия со студентками приводят к улучшению показателей силовых способностей (тест поднимание туловища и кистевая динамометрия). Занятия по системе пилатес со студентами, таким образом, помогают в достижении поставленных целей по развитию силовых способностей для укрепления здоровья, формирования правильной осанки, повышения работоспособности, а также способствуют привлечению к занятиям большего количества студентов. Следовательно, занятия пилатесом следует активно практиковать в учреждениях высшего образования как на факультативных, так и основных занятиях по учебной дисциплине «Физическая культура».

Библиографический список

1. *Королев А. С.* Пилатес тренировка как средство массовой физической подготовки студентов. Учебное пособие для вузов. М.: Лань, 2022. − 68 с.
2. Генезис методики пилатеса как экологоориентированного оздоровительного направления / М.М. Круталевич [и др.] // Сахаровские чтения 2024 года: экологические проблемы XXI века: материалы 24-й международной научной конференции, 23–24 мая 2024 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та ; редкол.: А. Н. Батян [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2024. Ч. 2. С. 332–335.
3. *Мелентьева Н. Н.* Пилатес. Учебное пособие для вузов, 3-е изд. М.: Лань, 2023. − 128 с.
4. *Онищук О. Н., Гришанович Н. А.* Использование системы Пилатес на занятиях по физической культуре со студентами специальной медицинской группы // Актуальные проблемы физической реабилитации и эрготерапии : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 29 марта 2018 г. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; под общ. ред. Т. Д. Поляковой и М. Д. Панковой. Минск, 2018. С. 120–123.
5. Пилатес: правила, тактика, техника / под ред. Конеевой Е.В. М.: Юрайт, 2022. 345 с.
6. Рабочая тетрадь по учебной дисциплине «Физическая культура». В 2 ч. Ч. 1. Основное и подготовительное учебные отделения : [учеб.-метод. пособие] / М. М. Круталевич [и др.]; под ред. М. М. Круталевича. − Минск : ИВЦ Минфина, 2023. 64 с.
7. *Стеблецов Е. А., Воронов Ю. С.* Основы пилатеса. М.: Юрайт, 2020. 196 с.

ЭТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ

А. В. Короткевич

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aivakina70@gmail.com

Для дальнейшего совершенствования системы высшего образования большую роль может сыграть применение компетентностного подхода с его практической направленностью и ориентацией на конечный результат обучения. Экологическая компетентность и экологические компетенции, как универсальные компетенции, включают в себя необходимый уровень знаний об основных экологических проблемах современности; понимание сущности природных пределов современного социально-экономического развития и причин экологического кризиса; способность оценивать результаты и последствия своей деятельности и др. Особенно важным является этический аспект экологической компетентности и роль экологической этики в ее формировании.

Ключевые слова: компетентностный подход; компетентность; компетенции; экологические компетенции; экологическая этика.

ETHICAL ASPECT OF ECOLOGICAL COMPETENCE

A. Karatkevich

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, aivakina70@gmail.com

The application of the competence-based approach with its practical focus and orientation toward the final learning outcome can play a major role in further improving the higher education system. Environmental competence and environmental competencies, as universal competencies, include the necessary level of knowledge about the main environmental problems of our time; understanding the essence of the natural limits of modern socio-economic development and the causes of the environmental crisis; the ability to evaluate the results and consequences of one's activities, etc. The ethical aspect of environmental competence and the role of environmental ethics in its formation are especially important.

Keywords: competence-based approach; competence; competencies; environmental competencies; environmental ethics.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-369-372

В новой концепции Национальной стратегии устойчивого развития на период до 2035 г. для системы высшего образования в качестве главных задач определены, в числе прочих, внедрение новых механизмов повышения его качества и практикоориентированности [1].

В достижении этих задач может значительную роль сыграть применение в образовательном процессе компетентностного подхода с его практической направленностью и ориентацией на конечный результат обучения. Такой подход, в основе которого лежит возможность сместить акценты в образовательном процессе с получения некой совокупности знаний на способность выполнять определенные функции, используя эти знания, должен сыграть существенную роль в подготовке будущих специалистов, способных к мотивированным действиям в ситуации неопределенности и ответственному принятию решений.

Под компетенцией мы понимаем знания, умения и опыт, необходимые для решения теоретических и практических задач. ***Компетентность*** – выраженная способность применять свои

знания и умения. Компетентность развивается и формируется на основе компетенций. В отечественной и зарубежной педагогике в целом под компетентностью ***понимается способность человека самостоятельно применять полученные знания и умения в новой ситуации***.

Согласно копетентностному подходу, выпускник, помимо знаний, умений и навыков, должен проявлять еще и способность, а, главное, желание их применить на практике. В соответствии с этим, в процессе образования необходимо помочь студенту УВО стать потенциально компетентным не только в избранной профессии, но и в любом виде деятельности, с которым он может столкнуться в жизни. Иными словами, по завершению обучения молодой специалист должен мочь и хотеть делать то, ради чего учился долгие годы.

Для достижения целей устойчивого развития необходимо формировать то, что позволит выпускнику адекватно и быстро адаптироваться в обществе и эффективно взаимодействовать с социальным окружением, результативно разрешать проблемы в социальной и природной среде. В этой связи наиболее значимыми м эффективными являются следующие сформированные компетенции в качестве универсальных и многофункциональных:

– компетенции межличностного взаимодействия и коммуникации молодого специалиста;
– компетенции непрерывного самообразования и профессионального совершенствования;
– компетенции самосовершенствования и саморегулирования;
– компетенции гражданственности и правовые компетенции;
– экологические компетенции.

В статье «Универсальные компетенции для устойчивого развития: определение границ и понятий» [2] нами были выделены среди прочих универсальных компетенций экологические компетенции.

Современная экологическая ситуация требует, чтобы выпускники УВО могли самостоятельно оценивать те управленческие решения, которые принимаются в обществе в связи с взаимодействим с природной средой; чтобы у них сформировалось чувство социальной ответственности в оценке важных для общества проблем, особенно в области природопользования.

Экологические компетенции представляют собой необходимый уровень знаний, умений и навыков, а также сформированной способности их применять на практике в сфере взаимодействия человека, общества и природы. Они представляют собой понимание природных пределов современного социально-экономического развития и причин экологического кризиса; способность оценивать результаты и последствия своей деятельности с точки зрения природосообразности, ненанесения или минимизации вреда природе; обладание навыками природосообразной деятельности и поведения; способность эмоционально воспринимать угрозу разрушения природной среды, проявлять волю к её защите и охране; обладание потребностью к деятельности в сфере экологии и природопользования; потребностью в общении с природой, нахождения в естественной природной среде. Они способствуют осознанию проблем, связанных с взаимодействием человека, общества и природы, устанавливают рациональное и бережное отношения к ней.

Экологическая компетентность выступает, таки образом, как способность личности к осознанию и пониманию экологических проблем, а также к применению этих знаний в ситуативной деятельности в быту и природном окружении. При этом полученные экологические знания, навыки и опыт должны выражаться в умении принимать решения, выполнять соответствующие действия, нести ответственность за принятые решения, осознавая их последствия для окружающей среды, важность ее защиты и готовность принимать меры для предотвращения экологических проблем.

Экологические компетенции и компетентность становятся владением знаниями, практическими умениями и навыками деятельности в рамках ***экологического императива***, который требует соблюдения экологических норм и принципов в процессе принятия решений. При этом проблема сохранения природной среды и ответственности перед нею является ключевой, что

предполагает ценностное отношение к природной среде. Так же подразумевается, что осознанное и экологически обоснованное регулирование природопользования будет продиктовано не только социальными и законодательными, но и этическими нормами, творческим опытом разрешения конфликтных экологических ситуаций.

По окончании образования выпускник УВО с сформированными экологическими компетенциями должен уметь взаимодействовать с другими людьми и окружающей средой, не нанося им ущерба, но и не забывая о собственных интересах, осуществляя осознанное и экологически обоснованное регулирование природопользования.

Формирование экологических компетенций и экологической компетентности важно не только для студентов высших учебных заведений, имеющих природоохранную и экологическую направленность, но имеют существенное значение в подготовке будущих специалистов любого профиля. Будучи правильно сформированными, эти компетенции позволяют знание экологических норм взаимодействия с природой перевести в плоскость личностного отношения, превратив благие намерения в конкретную программу действий, что важно и профессиональной, и в личной сфере деятельности любого человека.

Российские ученые Захлебный А. Н. и Дзятковская Е. Н. выделяют три плана экологической компетентности: внешний, внутренний и деятельностный. И если первый (внешний) включает способность к деятельности, направленной на проектирование качества окружающей человека социоприродной среды, то второй (личностный или внутренний) план экологической компетентности связан со способностью к совершенствованию самого субъекта экологически безопасной деятельности (его личностных качеств, воли, мотивов, ценностных ориентаций).

На наш взгляд, именно этот аспект экологической компетентности имеет особенное значение. Именно эмоционально-ценностный, или ***этический*** аспект экологических компетенций и экологической компетентности играет важную роль в управлении своей деятельностью в разных ситуациях, в возможности оценки вероятных рисков принятия того или иного решения. Нравственно-этическое содержание экологических компетенций связано с возросшей опасностью для состояния окружающей среды в следствие деятельности человека. В условиях возрастающей ответственностью как специалистов-экологов, так и отдельных личностей за экологическую безопасность территории и здоровья находящихся на ней людей, проектирование и организация деятельности в природной среде приобретает все более и более этически обусловленный характер.

В этой связи особое значение может приобрести изучение студентами основ экологической этики, которая формируется на основе сопряжения экологических наук и этики. Поскольку этика – это сфера регулируемых ценностями и императивами отношений человека, то экологическая этика – это ***этика отношений человека с окружающей средой, с миром природы*** – как в целом, так и в частных ее воплощениях. Экологическая этика как одна из форм прикладной этики, появляется во второй половине XX века и развивается в ответ на осознание человеком уязвимости природы. Это – ***этика уважения к природе как ценности самой по себе***, новый взгляд на природу как этическую ценность. Она охватывает предельно широкий круг проблем, рассматривая нравственные отношения человека и окружающей его среды и вырабатывая нравственные нормы его поведения.

Сформированная, в том числе, и с помощью изучения норм и принципов экологической этики, экологическая компетентность предполагает внутреннюю готовность индивида совершать такие действия, которые полезны для него лишь косвенно: они не связаны с удовлетворением его непосредственных потребностей сегодня, а предполагают их удовлетворение в будущем, в том числе и для нового поколения людей. Тем самым формируется тип личности, способной брать на себя ответственность за последствия своих действий и поведения в окружающей среде – как в «человеческих», так и в «не-человеческих» ситуациях.

Экологическая этика настаивает на признании равноправия и равноценности всего живого, а также на разумном ограничении прав и потребностей человека. При этом понятия милосердия, ответственности, сострадания должны стать не просто моральным долгом, а единственно возможным содержанием и мотивом действий человека в процессе не только во взаимодействии с другими людьми, но и с природой, его жизненным кредо.

В будущем в деле сохранения природной среды также окажутся значимыми умения, направленные на личностное самосовершенствование; знание своей индивидуальности; понимание себя, как личности; рефлексивный опыт, способность и готовность к саморегуляции и саморазвитию. Это позволит перейти от знания экологических норм взаимодействия с природой в плоскость личностного отношения и творчества, превратив благие намерения в конкретную программу, направленную на охрану природных ресурсов и снижение уровня собственного потребления.

Мы можем связать сформированные экологические компетенции и на их основе экологическую компетентность со способностью выпускника УВО самостоятельно переносить и комплексно применять полученные знания, умения и навыки для проектирования и организации экологически безопасной деятельности в проблемных экологических ситуациях в интересах устойчивого развития, здоровья человека и безопасности жизни. Важно, что формируются не только умения применять готовые, полученные в разных образовательных областях знания, но и способность самостоятельно модифицировать их, комбинировать, использовать в разных сочетаниях. Потребность в таком умении диктуется спецификой экологических ситуаций – их комплексностью, плохой прогнозируемостью, возможностью отсроченного риска. Поэтому сформированные экологические компетенции предполагают умение гибко сочетать интересы личной и коллективной безопасности, экологические и этические императивы, а также правовые нормы. Способность проектировать свою деятельность с точки зрения ее экологической безопасности (ставить цель, прогнозировать последствия, планировать, организовывать, взаимодействовать, оценивать риски для экологической безопасности), должны сочетаться с ответственным отношением к последствиям своей деятельности для экологической безопасности окружающей среды, здоровья и безопасности человека.

Получение образования, которое позволит каждому человеку приобретать навыки, ценности и подходы, расширяющие его права и возможности для внесения вклада в устойчивое развитие, принятия компетентных решений и осуществления ответственных действий во имя обеспечения целостности окружающей среды, экономической целесообразности и справедливого общества для нынешнего и будущих поколений – условие успешного развития человечества, его выживания. Экологическая компетентность является результатом и критерием качества такого образования. Ее формирование обеспечивается реализацией взаимосвязанных, общекультурных задач обучения, воспитания и развития и предполагает формирование знаний как естественно-научных, так и социокультурных.

Библиографические ссылки

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2035 года. Минск, 2018. Режим доступа: http://srrb.niks.by/program.pdf.

2. *Короткевич А. В., Лучина В. Н.* Универсальные компетенции для устойчивого развития: определение границ и понятий. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 2. С. 4–12.

ФОРМИРОВАНИИЕ НАУЧНОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ–ЭКОЛОГОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ

А. А. Луцевич[1)], **В. Ф. Малишевский**[1)], **Н. В. Пушкарев**[1)], **Е. В. Федоренчик**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, pushk@iseu.by*

В большинстве разделов естествознания определяющая роль принадлежит основным понятиям, законам и принципам физики, которая представляет собой постоянно развивающуюся систему научных знаний. Физика является не только частью современной культуры и основой других наук о природе, но и фундаментом научного понимания и объяснения свойств материальных объектов и предсказания закономерностей их движения и взаимодействия. Практические занятия по физике относятся к основным видам учебных занятий и составляют важную часть теоретической и практической профессиональной подготовки специалистов, с высшим техническим образованием.

Ключевые слова: научное мировоззрение; учебные дисциплины; природа; физические понятия; модели; законы методы; систематизация; учебный процесс; экология; медицина; диагностика.

FORMATION OF SCIENTIFIC THINKING OF ECOLOGY STUDENTS IN THE PROCESS OF TEACHING PHYSICS

A. Lutcevitch[1)], **V. Malishevskiy**[1)], **N. Pushkarev**[1)], **E. Fedorenchik**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, pushk@iseu.by*

In most branches of natural science, the decisive role belongs to the basic concepts, principles and laws of physics, which is a constantly evolving system of knowledge. Physics serves as the foundation of the scientific worldview, the basis of other natural sciences, and part of modern culture. Practical classes in physics are among the main types of training sessions and form an important part of the theoretical and professional practical training of a specialist and contribute to the formation of scientific thinking.

Keywords: scientific worldview; academic disciplines; nature; physical concepts; models; methods; systematization; educational process; ecology; medicine; diagnostics.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-373-377

Естественнонаучное образование является одним из основных компонентов подготовки подрастающих поколений к самостоятельной жизни. Наряду с другими составляющими образовательной системы оно обеспечивает всестороннее развитие личности обучаемого за время его обучения и воспитания в учебном заведении. В большинстве разделов естествознания определяющая роль принадлежит основным понятиям, законам и принципам физики, которая представляет собой постоянно развивающуюся систему научных знаний.

Физика служит фундаментом научного мировоззрения, основой других наук о природе, частью современной культуры. Физические методы познания природы сегодня активно используются не только в естественных, но и в гуманитарных науках – таких как психология, история, лингвистика. Знание методов исследования физических закономерностей на экспериментальном и теоретическом уровнях исследования представляет собой особую ценность в инженерном образовании. Поэтому недостаточное внимание к изучению физики в учреждениях общего среднего и высшего образования неизбежно приводит к появлению легковес-

ных «профессионалов», не обученных серьезно думать и творчески подходить к решению инженерных задач.

Практические занятия по физике относятся к основным видам учебных занятий и составляют важную часть теоретической и практической профессиональной подготовки специалиста.

В системе профессиональной подготовки будущих инженеров по физике, примерно 30 % учебного времени отводится практикуму по решению физических задач. Этот вид учебных занятий является одним из важных средств овладения студентами системой научных знаний по физике и формирования компетентности будущих специалистов как субъектов собственной жизни и деятельности, позволяет глубже понять и осознанно использовать физические закономерности, на основе которых осуществляется анализ конкретной ситуации формулируется рабочая гипотеза по поиску плана решения и составляется математическая модель адекватная рабочей гипотезе. Решение задачи как результат процесса является критерием качества усвоения основных компонентов системы научных физических знаний и умений способствует формированию у студентов умений анализировать ситуацию, моделировать реальнее объекты, формулировать рабочие допущения и гипотезы, составлять и решать математические модели задач, осуществлять верификацию рабочих гипотез, используя такие методологические категории, как «материальный объект», «модель», «анализ» «синтез», «гипотеза», «метод» и др. Решая задачи, студент имеет возможность проявить самостоятельность и достичь успеха на основе использования предложенной педагогом ориентировочной основы деятельности определенного типа, проявить творчество, осмыслить свою деятельность и оценить свои достижения в овладении универсальными и профессиональными компетенциями.

Следует отметить важность качественных задач, которые решаются путём логических умозаключений, базирующихся на законах физики. Их решение учит анализировать и выявлять существенные признаки изучаемых процессов, способствует более глубокому и осознанному пониманию физических теорий, развитию инженерного мышления, формированию профессиональной компетентности.

Кроме того, решение физических задач является одним из эффективных способов контроля и коррекции уровня сформированности умений обобщать и систематизировать получаемые знания, способствует формированию научного мировоззрения, знакомит с последними достижениями науки, техники, дает возможность рационально проводить повторение изученного программного материала, расширять и углублять знания.

Особое место в практикуме занимают комбинированные и комплексные задачи, решение которых требует использования нескольких закономерностей из различных разделов физики, или других естественнонаучных дисциплин, задания и задачи с элементами конструирования, экспериментального исследования, проектирования и др. Их умелое включение в учебный процесс дает возможность реализовать основные принципы дидактики, с учетом психолого-физиологических закономерностей функционирования организма человека. К этому типу задач можно отнести задачи по оценке «экологичности» того или иного способа производства энергии, разделяя при этом локальную и глобальную экологии, что, к сожалению, сознательно или бессознательно многие не делают. Например, при добыче водорода, воду или углеводородные соединения необходимо разложить, затратив на это энергию – 126 МДж/кг. Эта же энергия вернётся в том же количестве при окислении в энергоустановках, но уже в другом – локальном – месте.

При составлении физических задач с экологической направленностью нельзя забывать об одном из главных дидактических принципов – принципе научности, который требует, чтобы вопросы экологии включались в содержание без искажения, упрощенства и вульгаризации. Включение элементов экологии в учебный процесс по физике помогает подготовке к профессиональной деятельности, причем любого направления, так как экологические знания и умения носят всеобщий характер, они необходимы всем, независимо от специальности.

В настоящее время абсолютное большинство первокурсников поступает в вуз в год окончания школы. Несмотря на это некоторые из них испытывают затруднения при выполнении элементарных действий, поскольку приучены к ежедневной опеке и контролю со стороны учителей в общеобразовательной школе. И физика здесь не является исключением [1].

Низкое качество знаний, составляющих ядро физического образования, у большинства первокурсников является следствием как объективных, так и субъективных факторов. В частности, следствием «борьбы с перегрузкой учащихся», явились: реализация линейного принципа изложения материала в учебных программах по физике для средней общеобразовательной школы; уменьшение числа экспериментальных заданий и ряда вопросов, связанных с практическим применением изучаемых физических явлений и законов. В результате произошло вымывание из учебного предмета важных прикладных вопросов.

Для устранения затруднений, обусловленных отсутствием опыта самостоятельной работы у студентов, приходиться после входного контроля вводить в первом семестре выравнивающие (пропедевтические) курсы целью которых является повторение обобщение и систематизация информации содержащейся в курсе элементарной физики. По результатам входного контроля большинство студентов, как правило, критически оценивает свои достижения и дает адекватную самооценку уровня готовности к овладению вузовским курсом физики.

Повышению уровня мотивации студентов к самостоятельному выполнению учебных заданий способствует целенаправленная работа педагога по повышению интереса учащихся к изучаемому предмету, путем создания условий побуждающих студентов к применению полученных знаний и умений в новых, нестандартных ситуациях. Такие условия можно создать, например, используя физические задачи с междисциплинарным содержанием, решение которых, формирует развитие интереса не только к физике, но и к другим учебным дисциплинам и научным направлениям.

К важным направлениям можно отнести, к примеру, экологию и медицину. Интеграция экологии с физикой, как и с другими науками, позволяет получить четкое представление о взаимосвязи общества и природы. Важность медицинской составляющей можно объяснить тем, что многие физические закономерности [2] являются основой физиологических процессов, протекающих в организме человека, а развитие современной медицины в значительной степени обусловлено внедрением достижений физики.

Использование достижений физики последних десятилетий в медицине изменило ее характер – она из хирургической и лекарственной стала в значительной степени физической [3]. Об этих изменениях свидетельствует, в частности, высокий уровень физико-технического оснащения медицинских учреждений Республики Беларусь.

Критерием качества обучения является уровень креативности мышления, а критически мыслить человек начинает тогда, когда у него возникает потребность что-либо понять. Развитию критического мышления способствует практико-ориентированный подход к организации образовательного процесса, целью которого является самостоятельное приобретение студентами новых знаний и формирование практического опыта по их применению для решения как конкретных практических задач в реальной жизни, так и в искусственно смоделированных ситуациях.

В целом же практико-ориентированные образовательные технологии пробуждают интерес к избранной специальности, формируют умение выделять и анализировать проблемы и генерировать идеи по их решению, способствуют развитию системного инновационного мышления для решения будущих профессиональных задач, позволяют выявлять лидеров, обладающих неординарными способностями в различных видах деятельности.

Такой подход – это с одной стороны процесс взаимодействия педагога и обучаемого с целью совершенствования ряда психологических характеристик обучаемого, таких как внимание, мышление, мотивация, хотя здесь имеет место «вечное» противоречие в совмещении индивидуального подхода с массовым обучением.

Способы решения традиционных задач хорошо известны: логический, математический, экспериментальный. Методика обучения этим способам опирается на алгоритмические или полуалгоритмические модели. Но при решении творческих задач эти методы порой оказываются бессильными.

Нестандартные задачи требуют нестандартного мышления, их решение невозможно свести к алгоритму. Поэтому наряду с традиционными методами необходимо вооружить учащихся и эвристическими методами решения задач, которые основаны на фантазии, преувеличении, «вживании» в изучаемый предмет или явление и др.

Эти методы не просто интересны, они раскрывают творческий потенциал обучаемого, развивают его наглядно-образное и теоретическое мышление и обогащают духовную сферу. Они помогают показать физику как предмет глубоко значимый для любого человека, сформировать устойчивый интерес к ее изучению. Проиллюстрируем вышесказанное на примере решения простой, на первый взгляд задачи.

Определите высоту H прыжка человека ростом h=1,70 м на поверхности Луны, если на поверхности Земли он преодолевает планку на высоте HЗ =1,80 м, если известно, что модуль ускорения силы тяжести g на спутнике нашей планеты в шесть раз меньше модуля ускорения силы тяжести g0 на поверхности Земли.

Наш опыт работы показывает, что в абсолютном большинстве случаев первокурсники решают задачу предельно просто, умножая высоту земного прыжка на отношение ускорений, т.е. H =1,80м×6 10,5 м, без использования роста человека, приведенного в условии задачи. Приведенное решение является ошибочным, поскольку при прыжке центр масс человека, который находится на высоте приблизительно $H_0 \approx 1{,}0$ м от поверхности, на которой находится человек, перемещается вверх по вертикали на расстояние – $\Delta H = (HЗ – H0)$. Считая, мышечное усилие, развиваемое человеком перед прыжком в обоих случаях одинаковым, получим, что при прыжке на Луне центр масс человека переместится вверх всего лишь на $\Delta H = (1{,}8 – 1{,}0) \times 6 = 4{,}8$ (м). Следовательно высота прыжка на Луне составит H=4,8+1,0=5,8 (м).

Более глубокому осознанному пониманию и запоминанию числовых значений физических характеристик изучаемого объекта является их сопоставление с хорошо известными характеристиками других объектов. Так, например, большинство первокурсников плохо представляет степень малости молекулы или атома, хотя их количественные характеристики (размеры, масса, скорость и др.) изучаются не только в физике.

Чтобы студенты надолго запомнили, что диаметр простейшего атома примерно равен 10^{-10} м, а диаметр ядра этого атома – всего лишь 10^{-15} м, их можно удивить и заинтересовать предложив оценить каким будет диаметр атома, если диаметр его ядра станет равным одному метру. Легко показать, что в этом случае диаметр атома увеличился до 100 км, т.е. если ядро такого атома находится на аудиторном столе, то края атома надо искать на расстоянии в 50 км от стола. А чтобы представить и запомнить числовое значение массы электрона $m \approx 10^{-27}$ г, можно привести ее сравнение с массой Земли $M \approx 10^{+27}$ г. Поэтому, если массу 1 г увеличим в 10^{27} раз, то получим массу нашей планеты, а если уменьшить в такое же число раз – массу электрона.

О важности таких сравнений свидетельствуют слова известного английского физика Уильяма Томсона: «Если вы можете измерять и выражать в числах то, о чем говорите, то об этом предмете вы кое-что знаете, если вы не можете сделать этого, то ваши познания скудны и неудовлетворительны. Быть может, они и представляют первый шаг исследования, но едва ли позволительно думать, что ваша мысль продвинулась до степени настоящего знания».

Без активизации творческих способностей учащихся или студентов невозможно достичь понимания многих физических явлений, закономерностей и идей. К ним, к примеру, можно отнести:

– понимание идей Максвелла об излучении электромагнитных волн;

– специальную теорию относительности, где не надо путать относительность физических величин с относительностью физических закономерностей, так как речь идет об абсолютности физических законов во всех инерциальных системах.

При изучении физических закономерностей практически по любой теме необходимо обращать внимание на их проявление в процессах, протекающих в организме человека. Так движение жидкости (гидродинамика) связано с кровообращением, с давлением крови, показатель которого используется при диагностике ряда заболеваний, звуковые колебания (акустика) – с прослушиванием звуков, источники которых находятся внутри организма, что позволяет получить ценную информацию о нормальной и патологической работе отдельных органов.

Для решения физических задач содержащих характеристики биологических объектов, как правило, недостаточно формального знания физических законов. Во многих случаях главную роль играет не уровень сформированности умений рассуждать логически, а интуиция и творческие способности «решателя».

В качестве примера рассмотрим комбинированную задачу по теме использование радиоактивных изотопов.

«В кровь человека ввели раствор содержащий m = 200мг хлорида натрия (NaCl), в составе которого имеется β^- радиоактивный изотоп $^{24}_{11}Na$, доля атомов которого составляет $\alpha = 6 \cdot 10^{-11}$ от общего количества атомов натрия. Определите объем V крови в теле человека, если через промежуток времени t_1 = 30 ч, после укола, активность пробы крови объемом ΔV = 1,0 мл составила 87,5 Бк.

Активность радиоактивного изотопа натрия в пробе $A=\lambda \Delta N$, где $\lambda = \frac{ln2}{T_{1/2}}$ – постоянная распада, ΔN -число нераспавшихся ядер радиоактивного изотопа в пробе, $T_{1/2}$=15 час – период полураспада ядер $^{24}_{11}Na$.

Согласно закону радиоактивного распада $\Delta N = \alpha \frac{m}{M} N_A exp\left(-\frac{ln2}{T_{1/2}} t_1\right) \frac{\Delta V}{V}$, где $N_A = 6{,}023 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ – постоянная Авогадро.

Подставив выражение для количества радиоактивного натрия в пробе ΔN в формулу для ее активности, получим:

$$A = \frac{ln2}{T_{1/2}} \cdot \alpha \frac{m}{M} N_A exp\left(-\frac{ln2}{T_{1/2}} t_1\right) \frac{\Delta V}{V}. \quad \text{Отсюда} \quad V = \frac{ln2}{T_{1/2}} \cdot \alpha \frac{m}{M} N_A exp\left(-\frac{ln2}{T_{1/2}} t_1\right) \frac{\Delta V}{A}.$$

После подстановки числовых значений, получим значение объема крови в теле человека: V=4,5 л.

Фундаментальные знания по физике создают условия для последующего успешного освоения специальных дисциплин в высшей школе, получения знаний и навыков, которые закладывают основу как в профессиональную компетенцию будущих специалистов, так и для решения жизненно важных задач.

Поэтому дидактически обоснованное использование экологического материала должно быть обязательным компонентом изучения практически во всех естественнонаучных и технических учебных дисциплинах.

Библиографические ссылки

1. *Малишевский В. Ф., Журавков В. В., Луцевич А. А., Пушкарев Н. В.* Взаимосвязь успеваемости студентов младших курсов с уровнем их школьных аттестационных оценок // Высшая школа: проблемы и перспективы: материалы 13-й Междунар. науч.- метод. конф., Минск, 20 февр. 2018 г. В 3 ч. Ч. 1. Минск: РИВШ, 2018. С. 270–276.

2. *Малишевский В. Ф., Луцевич А. А.* Взаимосвязь и взаимообогащение физики и медицины.// Физика. 2020. № 4 (133). с. 40–46.

3. *Костылев В. А. Наркевич Б. Я.* Радиационная медицинская физика – фундаментальная основа медицинской радиологии //Радиология. практика. 2007. № 2. С. 42.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ КАТАСТРОФ

И. З. Олевская[1)], **В. А. Островский**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, olevskaya@yandex.ru*

Радиационные катастрофы влияют не только на окружающую среду и здоровье людей, а также на их психологическое состояние. Беру в пример аварию на Чернобыльской атомной станции. Рассматривая последствия радиационного воздействия, включая и психологические травмы.

Ключевые слова: радиационные катастрофы; Чернобыль; радиофобия; психологические последствия; ликвидаторы; реабилитация; психотерапия.

PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF RADIATION DISASTERS

I. Z. Olevskaja[1)], **V. A. Ostrovskiy**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olevskaya@yandex.ru*

Radiation disasters affect not only the environment and human health but also their psychological state. I take the Chernobyl nuclear power plant accident as an example, examining the consequences of radiation exposure, including psychological trauma.

Keywords: radiation disasters; Chernobyl; radiophobia; psychological consequences; liquidators; rehabilitation; psychotherapy.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-378-381

Мы наслышаны о радиационных авариях и катастрофах – они оставляют не только физические последствия, но и глубокий след в психике пострадавших. Радиоактивное загрязнение представляет серьезную угрозу для жизни, а также для психологического состояния. Люди, пережившие такое, сталкиваются с тревогой, депрессией и ПТСР (посттравматическим стрессовым расстройством).

Ни для кого не секрет, что для людей, на глазах у которых всё вокруг уничтожалось, это стало большим ударом.

Взрыв на четвертом энергоблоке ЧАЭС привел к крупнейшей техногенной катастрофе в истории атомной энергетики. Люди, занимаясь своими делами, ещё и не подозревали, что радиация заберёт у них всё.

Утрата жителей Припяти, которые потеряли свой дом, была как физической, так и глубоко эмоциональной. Утрата домов, будущего, стабильности их былой жизни и то, чего никому никак не возместить, – смерть близкого. Поддержка мирных жителей, пожарные и сотрудники станции боролись с распространением огня, с радиацией уже никто не мог совладать.

Эвакуация Припяти началась лишь спустя 36 часов. 50 тысяч человек покинули город, забрав с собой необходимое, не подозревая, что их квартиры, наполненные историей, памятными вещами, фотографиями на столе, не вернутся никогда.

Их счастливая жизнь так и осталась в тех квартирах. Люди потеряли свой родной город, многие так и не смогли смириться с этим и начать новую жизнь. Психологические травмы преследовали их всю жизнь, чувство потери и последующая апатия терзали сердце. Припять у них отняли внезапно и бесповоротно.

Память о городе живёт и сейчас, пережившие аварию передают свои истории детям и внукам, не забывая о родных улицах, парках, школах и проведённых беззаботных буднях. Припять так и стоит, только напоминая нам о прошлом.

После катастрофы многие люди начали относиться к радиации с осторожностью, а есть и те, кто боится, хоть и реальной угрозы облучения нет. Многие начали задумываться о серьёзности радиации.

Радиофобия – это патологический страх перед радиацией, который может возникать у людей, даже если реальной угрозы облучения нет. Несмотря на прошедшие десятилетия, радиофобия продолжает оказывать влияние на общество, заставляя людей бояться не только реального радиационного загрязнения, но и любых технологий, связанных с атомной энергией, что также касается и нашей страны, учитывая наличие АЭС.

Радиофобия проявляется в различных формах:

– Повышенная тревожность только при упоминании радиации или ядерных объектов.

– Избегание определённых мест, например бывших зон заражения, а также районов рядом с действующими атомными станциями.

– Соматические симптомы – головные боли, тошнота, слабость без участия радиационного облучения.

– Недоверие к официальной информации о радиационной безопасности, склонность верить конспирологическим теориям.

– Психологические последствия у пострадавших от радиационных аварий, включая депрессию, ПТСР и чувство социальной изоляции.

После Чернобыльской катастрофы люди на постсоветском пространстве оказались в зоне психологического воздействия страха перед всем, чего касается радиация. Проживающие далеко от аварии боялись за своё здоровье, нехватка знаний на тот момент у населения сыграла важную роль. Люди надумывали, что от радиации бывают генетические мутации, а также боялись за репродуктивную функцию.

Такая ситуация характерна не только для постсоветского пространства – подобное можно наблюдать и в Японии после аварии на АЭС «Фукусима Дай-ити». Уровень радиационного облучения там был куда ниже, нежели на ЧАЭС, однако большинство отказывалось возвращаться в очищенные районы из-за страха перед радиацией. Японские психологи заметили рост числа депрессий и тревожных расстройств среди населения, а также стигматизацию людей, живших в зоне аварии. Их опасались и обходили стороной – как на работе, так и в быту. Здесь также сыграла роль нехватка знаний

Сегодня радиофобия влияет на восприятие ядерной энергетики. Многие страны не готовы начинать строительство только из-за общественного страха. Атомные станции могут выставлять исключительно в негативном свете, создавая лживые представления и страх перед ними. Наш Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова помогает с недостатком знаний насчёт радиации.

Как бороться с радиофобией?

– Образование. Понимание природы радиации, её рисков и способов защиты помогает снизить необоснованные страхи.

– Психологическая поддержка пострадавших. Люди, пережившие радиационные катастрофы, нуждаются в терапии и помощи от специалистов в сфере психологии.

– Объективное освещение темы в СМИ. Важно избегать нагнетания паники и предоставлять населению достоверную информацию о радиационных рисках.

Радиофобия – пример того, как страх перед радиацией меняет жизнь миллионов людей. Борьба с радиофобией – вопрос науки и психологической помощи, а также информирования общества.

Радиофобия двигает учёных к развитию образовательных систем. Находится всё больше людей, готовых работать с радиацией и улучшением экологии. Последствия социально-психологического характера были не менее важными для государства.

Развитие проектов ЮНЕСКО, таких как центры социально-психологической реабилитации, было крайне важным для пострадавших. В этих центрах люди могли найти уход и лечение, каждый находил себе применение и участвовал в развитии проектов. Цели этих центров – улучшать психологическое состояние всех возрастных и социальных групп, развитие доверия и социальной ответственности, укрепление семейных уз. Также это способствовало развитию психологической практики в трёх странах.

Работники центров руководствовались следующими правилами:

Акцент на индивидуальную работу и семейную терапию, групповая работа – группы риска, работа с местными организациями.

Контроль за центрами: повышение квалификации персонала, проведение проверок. Слаженный коллектив и отличная координация.

Планировалось, что у каждой пострадавшей страны будет по три реабилитационных центра. В Беларуси это центры в Аксаковщине, Стрешине и посёлке Першай.

Пострадавшие страны от Чернобыльской катастрофы, такие как Республика Беларусь, Украина и Российская Федерация, принимали участие и поддерживали финансово проекты по реабилитации пострадавших от аварии.

Другой проект, разработанный совместно со странами в 1995 году, – это проект по информированию населения трёх стран о проблемах радиации и способах борьбы с загрязнением. Он отлично помогает с ознакомлением населения для предотвращения страха.

В каждом центре свой небольшой штат – в среднем 15 работников. Важнейшую роль имели социальные работники, в основном их насчитывалось около четырёх. Психотерапия на то время была совсем не развита, и квалификации работников не хватало для помощи пострадавшим. ЮНЕСКО организовала подготовку специалистов.

В каждой семье находились нуждающиеся в помощи психологов. Для многих такие центры стали спасением: они находили поддержку в них и могли жить дальше. Жизнь в таких центрах была наполнена активностями.

Люди благодарны этим центрам, для некоторых они стали вторым домом, где их всегда выслушают и помогут.

Изучая всё это, я понял, что радиационные катастрофы – это не только про физические последствия. Есть ещё не менее важная проблема – психологические раны, которые не вылечит врач. Потеря дома и близких навсегда останется в их сердцах.

Психотерапевты сыграли важную роль в помощи людям. Они помогли пострадавшим справиться с переживаниями и принятием новой жизни. Нельзя забывать и про самоотверженный труд ликвидаторов. Многие из них уже не смогут жить так, как раньше, из-за проблем со здоровьем. Им тоже может потребоваться помощь психотерапевтов.

Недооценивать работу психотерапевтов неправильно. Многие люди без их помощи не смогли бы продолжить нормальную жизнь. Они доказывают, что человек может двигаться вперёд после любых трудностей.

Когда речь заходит о радиационных катастрофах, важно помнить: восстановление – это не только про восстановление зданий, но и про помощь людям.

Библиографические ссылки

1. *Марченко Т. А., Тазетдинова М. Н.* Социально психологические проблемы граждан, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС [Электронный ресурс] // Журнал радиация и риск (Бюллетень Национального радиационного-эпидемиологического регистра). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-psihologicheskie-problemy-grazhdan-podvergshihsya-radiatsionnomu-vozdeystviyu-vsledstvie-avarii-na-chaes/viewer (дата обращения 2016).

2. *Александровский Ю. А., Румянцева Г. М., Щукин Б. П.* Состояние психической дезадаптации в экстремальных условиях (по материалам аварии на ЧАЭС) // Журнал невропатологии и психиатрии. 1989.

3. Двадцатилетний опыт оценки социально-психологических последствий чернобыльской аварии. Румянцева Г. М. [и др.] // Современные проблемы обеспечения радиационной безопасности населения: сб. докладов и тезисов научно-практической конференции НИИРГ. 2006.

4. *Мельницкая Т. Б., Белых Т. В.,* Результаты актуальной оценки социальной-психологической ситуации на радиоактивно загрязненных территориях [Электронный ресурс] // Журна социологический альманах. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-aktualnoy-otsenki-sotsialno-psihologicheskoy-situatsii-na-radioaktivno-zagryaznennyh-territoriyah-rossii/viewer (дата обращения 14.11.2017).

5. *Харисов Г. Х., Заворотный А. Г.* Снижение уровня радиофобии у личного состава РСЧС [Электронный ресурс] // Журнал пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-urovnya-radiofobii-u-lichnogo-sostava-rschs/viewer (дата обращения 2014).

ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СОЦИУМ

И. З. Олевская[1)], **М. С. Петренко**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, olevskaya@yandex.ru*

В данной статье рассматривается негативное влияние неблагоприятного экологического окружения на психоэмоциональное здоровье социума, механизмы влияния ухудшенных условий окружающей среды и актуальность данной проблемы в современных реалиях.

Ключевые слова: экологическая психология; экологические условия; неблагоприятная среда; психика человека.

IMPACT OF ADVERSE ENVIRONMENTAL FACTORS ON SOCIETY

I. Olevskaya[1)], **M. Petrenko**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olevskaya@yandex.ru*

This article discusses the negative impact of an adverse environmental state on human psycho-emotional health, the mechanisms of influence of deteriorated environmental conditions and the relevance of this problem in modern realities.

Keywords: ecological psychology; environmental conditions; unfavorable environment; human psyche.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-382-385

В современном мире человечество каждый день сталкивается с определёнными экологическими проблемами, так или иначе затрагивающими жизнь людей. Ухудшение экологической обстановки нашего природного окружения может расцениваться как одна из самых серьёзных проблем человечества на данном этапе, согласно многочисленным исследованиям в данной области. Экологические проблемы могут быть как серьёзными, так и незначительными, но все они в какой-либо степени влияют на жизнь населения нашей Земли. В пример экологических проблем можно привести, в первую очередь, глобальное загрязнение почвы, земли, воды. Кроме загрязнения окружающей среды, неблагоприятными условиями можно также назвать вырубку лесов, сокращение биоразнообразия, шумовое загрязнение в городах, изменение климата в целом и так далее. Так или иначе, эти факторы затрагивают и здоровье человека, как здоровье физическое, так и психоэмоциональное, или же ментальное [1].

Уже давно ведутся работы по изучению влияния экологии на физическое здоровье человека, в которых становится известно, что экология играет большую роль в нашем физическом благосостоянии, но изучение влияния окружающей среды на психику человека стало актуальным только недавно, поэтому накопленный материал исследований не отличается большими размерами, что делает экологическую психологию – смежную науку экологии и психологии – актуальной темой для изучения. Предмет экопсихологии довольно обширен и обычно трактуется по-разному, зависимо от исследователей. В общем и целом, эта наука изучает взаимоотношения окружающей среды – как природной, так и социальной – и человека, или другими словами спектра отношений «Человек – окружающая среды». В первую очередь данная наука изучает влияние этой окружающей среды на человека. Экопсихологию можно разделить на

множество подразделов, таких как «Природа», «Духовность», «Трансперсональная психология», «Экологический активизм», «Экологическое образование на основе опыта», «Экология человека», «Экотерапия» и «Связь с природой». Терапевтическая направленность экопсихологии также чётко обозначена и является ключевым компонентом этой области. Предполагается, что тесная эмоциональная и духовная связь человека с природой развилась из филогенетического развития современного человека, которое длилось сотни тысяч лет и включало в себя тесное взаимодействие с миром природы, путём выживания в данных условиях [1].

Актуальность экопсихологии в наше время заключается не только в необходимости разработки аспектов психологии в решении экологических проблем региональных и глобальных, но и в необходимости сохранить изначальную естественную среду обитания человека – природу [2]. Таким образом, экопсихологию можно назвать молодой и развивающейся наукой, перспективной для дальнейшего изучения, ведь взаимосвязь человека и природы в наше время, а также влияние их друг на друга, может дать ответы на многие вопросы в плане психологии человека, а также глубже раскрыть суть отношений человека с природой, ведь природа с самого зарождения человечества имела прямое участие в жизни и развитии людей, а люди с самого начала времён оставляли свой след на природе и экологии в целом, что наиболее активно наблюдается именно сейчас.

Как уже ранее было заявлено, экологическая обстановка влияет напрямую на физическое здоровье человека. Если обращаться к статистике, около 20-25 % здоровья человека зависит от его экологического окружения. Такие неблагоприятные экологические факторы, как вредные условия жизни и производства, неблагоприятные климатические и природные условия, нарушение экологической обстановки в целом негативно влияют на здоровье человека. Из способствующих улучшению здоровья факторов можно выделить: хорошие бытовые и производственные условия, благоприятные климатические и природные условия, экологически благоприятная среда проживания [3]. Очевидно, что здоровье физическое и ментальное тесно связаны друг с другом, ведь в болезни человек всегда будет чувствовать себя морально хуже, чем если бы он был здоров. Таким образом, плохая экологическая обстановка косвенно влияет на здоровье психоэмоциональное, посредством ухудшения здоровья физического.

Стоит рассмотреть механизмы влияния неблагоприятной экологии на человека напрямую. Предполагается, что в ухудшенных или загрязненных экологических условиях психоэмоциональное здоровье человека имеет тенденцию меняться в негативную сторону – наблюдается всеобщее снижение психической активности людей, родившихся и проживающих в условиях неблагоприятного экологического окружения. В изучении влияния неблагоприятной среды на человека можно выделить три ветви, использующие разный подход. Эти ветви рассматривают разные типы неблагоприятных экологических явлений и их влияние на психику человека. Пути характеризуются такими темами, как: изучение радиационного влияния на человека, изучение влияния других негативных экологических факторов или отдельных «загрязнителей», и, наконец, изучение последствий проживания на экологически загрязненных территориях для социально-психологического статуса человека.

Эмпирические данные, полученные в ходе исследований, свидетельствуют о существенных различиях в характеристиках психической деятельности людей, проживающих в регионах с различными экологическими условиями. Эти различия проявляются в том, что у значительной, а иногда и преобладающей части людей, живущих в условиях экологического неблагополучия, показатели различных видов психической активности отклоняются от так называемой «средней» психологической нормы. Вместо этого они оказываются в переходных диапазонах между «средней» нормой и ненормативностью. Такие показатели часто обозначаются как «сниженная норма», «ниже среднего уровня», «слабые» или «пограничные» (например, при интерпретации результатов тестов Д. Векслера, Р. Кеттелла, Дж. Равена и других).

Влияние неблагоприятного экологического окружения будет рассмотрено в направлении вторых двух путей подхода: по изучению влияния на психику человека «загрязнителей» окру-

жающей среды и проживания на территории с неблагоприятной экологической обстановкой. Первое направление исследований связано с анализом уровня общей активации психической деятельности у людей, проживающих на экологически неблагополучных территориях. Из-за неравномерного распределения энергии, которую человек получает как открытая самоорганизующаяся система – осуществляющая обмен энергией, веществом и информацией с окружающей средой – между различными уровнями его системной организации, наблюдается недостаточное энергетическое обеспечение психологического и социального уровней. В результате общая активация психической деятельности у таких людей оказывается сниженной.

Известно, что в процессе адаптации к природным условиям, особенно при одновременном выполнении репродуктивных и соматических функций, возникает конкуренция за ограниченные энергетические ресурсы. Аналогичная конкуренция происходит между биологическими и психическими функциями. В условиях экологического загрязнения адаптация к окружающей среде становится более сложной и требует большего энергетического обеспечения, особенно на биологическом уровне, чтобы поддерживать физиологические основы жизнедеятельности. Это приводит к дефициту энергии на психологическом и социальном уровнях, что нейропсихологии называют «энергетическим обкрадыванием» психической деятельности. Вследствие этого снижается уровень активации психической деятельности, что и объясняет снижение параметров психологического статуса человека.

Второе направление исследований связано с анализом общих законов и механизмов адаптации. Предполагается, что аналогичные адаптационные механизмы действуют в условиях хронического экологического неблагополучия, где на психику здоровых людей оказывают влияние не экстремальные, но постоянные негативные воздействия деформированной природной среды. Существует два основных варианта влияния неадекватной природной среды на человека, которые были установлены преимущественно для биологического уровня. Однако те же закономерности применимы и к психологическому уровню. Эти варианты описывают два механизма участия психики в жизнеобеспечении человека в условиях экологического неблагополучия.

Первый вариант связан с ситуацией, когда человек рождается и живет в условиях значительного экологического неблагополучия. В этом случае с момента зачатия и на протяжении всего перинатального периода происходит ослабление филогенетических программ гомеостаза. В результате организм и нервная система развиваются в направлении снижения уровня функционирования, хотя и не достигают патологических состояний благодаря пластичности филогенетических программ. Негативные средовые влияния изменяют процесс формирования мозга, что влечет за собой изменения в высших психических функциях. Это проявляется в виде разлитых, но не радикальных изменений. Поскольку биологические основы жизнеобеспечения ослаблены, психологический и социальный уровни также функционируют и развиваются с отклонениями. В условиях экологического неблагополучия возникает дефицит психической активности, степень которой зависит от силы повреждающего фактора.

Известно, что при достаточном функциональном резерве кратковременное напряжение адаптивных систем может повышать уровень функционирования, но при длительном напряжении происходит его снижение. Люди, проживающие на экологически неблагополучных территориях, находятся ближе к нижнему пределу адаптационной нормы популяции. Их организм переходит на режим минимизации функций, что является биологической основой снижения психической активности. Это состояние можно рассматривать как особую форму адаптации, при которой человек вынужден платить высокую цену за сохранение жизнедеятельности. Существует три основные стратегии адаптации: компенсация, мобилизация и минимизация. В условиях экологического неблагополучия часто проявляется стратегия минимизации, которая заключается в снижении активности для экономии энергии. Таким образом, снижение психической активности у людей, проживающих на экологически неблагополучных территориях, можно объяснить необходимостью соблюдения принципа энергосбережения и минимизирующей адаптации.

Второй вариант влияния неадекватной природной среды на психику человека возникает, когда здоровый человек, родившийся в экологически благополучных условиях, переезжает на территорию с высоким уровнем экологического загрязнения и проживает там длительное время. В этом случае его базовые филогенетические программы изначально соответствуют норме, и психическое развитие также протекает нормально. Однако под воздействием хронического негативного влияния экологически неблагополучной среды адаптационные системы человека начинают работать с повышенным напряжением, обеспечивая первоначальное привыкание. Напряжение в одной из систем организма неизбежно влияет на функционирование других систем, включая психику. В результате психическая деятельность, хотя и остается в пределах нормы, часто смещается ниже уровня «средней» нормы, поскольку многие биологические и психические процессы становятся слишком энергозатратными. Хроническое воздействие неблагоприятной среды требует постоянного напряжения адаптационных механизмов, что со временем может привести к истощению ресурсов организма. Чтобы предотвратить срыв адаптации, организм снижает параметры своего функционирования. Это отражается и на психологическом уровне, проявляясь в общем снижении психической активности, которое можно выявить через параметры психологического статуса человека.

Снижение психической активности у людей, родившихся в экологически неблагополучных условиях, является позитивным процессом адаптации, компенсирующим ослабление нервной и других систем организма. Это вариант региональной нормы, позволяющий адаптироваться к неблагоприятным условиям, хотя и с энергетическими затратами. У людей, переехавших в неблагополучные условия после периода нормальной жизни, снижение активности носит негативный характер, указывая на декомпенсацию и истощение психических ресурсов. Это чаще наблюдается у взрослых. Социальная среда может смягчить или усилить последствия экологического неблагополучия. При социальной компенсации люди сохраняют способность к деятельности, хотя её продуктивность снижается. Способность человека поддерживать активность зависит не только от экологических условий и физиологических резервов, но и от умения рационально расходовать и восстанавливать энергию [4].

Анализируя всё вышесказанное, можно сделать вывод: экопсихологический подход раскрывает состояние психики людей, проживающих в экологически неблагополучных условиях, где длительное воздействие среды приводит к снижению психической активности. Психологический статус таких жителей отличается от нормы: показатели смещаются к нижненормативным диапазонам («сниженная норма», «ниже среднего уровня»). Это объясняется снижением активации психики из-за перераспределения энергии в пользу биологических функций и изначальным дефицитом филогенетических программ, нагрузкой на адаптивные системы, что вынуждает организм переходить на энергосберегающий режим. С позиций адаптации, это позитивное явление – вариант региональной нормы, позволяющий адаптироваться к неблагоприятным условиям. Выраженность изменений зависит от силы экологического воздействия и возможностей социальной компенсации.

Библиографические ссылки

1. Clinical Ecopsychology: The Mental Health Impacts and Underlying Pathways of the Climate and Environmental Crisis. Myriam V. T. [et al.] // Frontiers in psychiatry. 2021. Vol. 12, P. 1-20.

2. *Панов В. И.* Экологическая психология: направления и тенденции [Электронный ресурс] // Экопоэзис: экогуманитарные теория и практика. 2020. №1. С. 36-44. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-psihologiya-napravleniya-i-tendentsii (дата обращения: 25.02.2025).

3. *Bidakhmet Z.* Influence of ecology on human health // Theoretical & Applied Science. 2018. Vol. 68, P. 11-15.

4. *Сараева Н. М.* Общее теоретическое представление о состоянии психики человека, проживающего в условиях экологически неблагополучной жизненной среды // Учёные записки ЗабГУ. Серия: Философия, социология, культурология, социальная работа. 2012. №4. С. 138-144.

ТРЕВОЖНОСТЬ КАК ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН

И. З. Олевская[1)], **К. В. Шульгина**[1)], **Д. О. Хмельницкая**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1 220070, г. Минск, Беларусь, olevskaja@yandex.ru*

На данный момент тревожность является одной из самых актуальных проблем психологического аспекта, поскольку встречается повсеместно и во всех возрастах. Исходя из данной проблемы, очень важно рассмотреть психологические аспекты тревожности, начиная от определения и дифференциации тревоги от страха, до анализа её проявлений, причин и последствий. Рассмотрение темы тревожности как психологического аспекта показывает, что различные теоретические модели тревожности, включают в себя биологические, психологические и социальные факторы, способствующие её развитию. Особое внимание уделяется механизмам возникновения и поддержания тревожных расстройств, а также эффективным стратегиям когнитивной и поведенческой терапии, направленным на их преодоление.

Ключевые слова: тревожность; страх; симптомы; виды; типы; детский возраст; тест; методика.

ANXIETY AS PSYCHOLOGICAL PHENOMENON

I. Z. Olevskaya[1)], **K. V. Shulgina**[1)], **D. O. Hmelnitskaya**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olevskaja@yandex.ru*

At the moment, anxiety is one of the most urgent problems of the psychological aspect, as it occurs everywhere and at all ages. With reference to this problem, it is very important to consider the psychological aspects of anxiety, starting from the definition and differentiation of anxiety from fear, to the analysis of its manifestations, causes and consequences. Consideration of the topic of anxiety as a psychological aspect shows that various theoretical models of anxiety include biological, psychological and social factors contributing to its development. Special attention is paid to the mechanisms of occurrence and maintenance of anxiety disorders, as well as effective strategies for cognitive and behavioral therapy aimed at overcoming them.

Keywords: anxiety; fear; symptoms; species; types; childhood; methodology.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-386-389

Одним из первых исследователей, стремившихся понять суть тревоги, был З. Фрейд. В его теории утверждается, что определенные болезненные переживания, такие как действия, мысли или воспоминания, которые вызывают сильное беспокойство, вытесняются из сознания. Энергия, стоящая за этим вытеснением, затрудняет возвращение этих воспоминаний. Данный процесс можно сопоставить с физиологическим механизмом «охранительного» торможения, который защищает кору головного мозга от избыточного возбуждения. Таким образом, сильные эмоциональные переживания, которые оказываются неприемлемыми для индивида, активно подавляются и забываются. Когда подавленные мысли начинают угрожать всплыть в сознание, тревога возобновляется, и происходит новое вытеснение. Это создает постоянный конфликт на подсознательном уровне, где тревога, возникающая в ответ на внешнюю угрозу, выполняет защитную функцию «Эго», сигнализируя о возможной опасности. Вытеснение может рассматриваться как первичный защитный механизм, однако, в случае исчезновения угрозы вытесненные элементы могут вновь появиться в сознании. Тревога помогает человеку адаптивно справляться с угрожающими ситуациями. Вытеснение можно рассматривать как первичный

защитный механизм, позволяющий избавиться от болезненного ощущения тревоги. Однако зачастую мысли и импульсы, подвергшиеся вытеснению, не остаются в бессознательном, и вместе с ними всплывает и связанная с ними тревога. Это приводит к активации различных вторичных защитных механизмов, задача которых – укрепление «плотины», удерживающей подавленные импульсы. К числу таких механизмов относятся замещение, рационализация, реактивное образование, проекция, регрессия, сублимация и изоляция (интеллектуализация). Вытеснение возникает в ответ на угрозу для «Эго», что представляет более серьезную угрозу для самооценки, нежели просто неприятные ситуации. Исследования показывают, что, когда исчезает причина вытеснения (угроза «Эго»), вытесненные мысли становятся вновь доступными сознанию. Если угроза устранена, возвращение вытесненных элементов в осознание становится безопасным [1].

Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствуют уверенные эмпирические доказательства теории Фрейда о том, что вытеснение служит способом преодоления угрожающих или болезненных эмоций, что затрудняет исследования связи между вытеснением и тревожностью, а также глубокого анализа природы и источников тревоги в рамках психоанализа.

А. Адлер в своей индивидуальной теории акцентировал, что тревога является проявлением невроза, понимаемого им в широком смысле как неясный диагностический термин, охватывающий различные поведенческие расстройства. Он утверждал: «Невроз представляет собой естественное, логично развивающееся состояние личности, которая малоактивна, эгоцентрично стремится к власти и поэтому испытывает задержку в развитии социальных интересов». Невротики зачастую выбирают неблагоприятный стиль жизни, что связано с пережитыми в детстве физическими страданиями, избыточной опекой или же неприятием. Эти факторы формируют у детей повышенную тревожность, неуверенность и побуждают развивать психологические защитные механизмы для преодоления чувства неполноценности.

Жизни людей с неврозом сопутствует постоянная угроза их самооценке, что проявляется в чувствах неуверенности и повышенной чувствительности.

К. Хорни не соглашалась с Фрейдом относительно того, что тревога является обязательным элементом человеческой психики. В рамках своей социокультурной теории личности она утверждает, что источником тревоги является отсутствие чувства безопасности в отношениях с окружающими. То, что нарушает ощущение защиты у ребенка в взаимодействии с родителями, приводит к базальной тревоге. Таким образом, истоки невротического поведения часто связаны с дисгармонией в взаимоотношениях между родителями и детьми, когда ребенок ощущает любовь и принятие, его чувство безопасности возрастает, что способствует нормальному развитию. При отсутствии этих условий у ребенка может развиваться враждебность к родителям, которая, в свою очередь, перерастает в базальную тревогу, направленную на окружающих. Хорни проводит различие между страхом и тревогой: страх – это адекватная реакция на реальную опасность, тогда как тревога возникает как преувеличенная реакция на воображаемую угрозу. При этом страх основан на объективной угрозе, а тревога – на субъективном восприятии ситуации, где её интенсивность зависит от личного значения для индивида [2].

Тревожность, как характеристика личности, может быть определена как устойчивая предрасположенность воспринимать угрозы своему «Я» в различных обстоятельствах и реагировать на них усилением тревожного состояния. Проявления тревожности в ответ на разные стрессовые факторы уникальны для каждого человека. Личности с выраженной тревожностью чаще воспринимают окружающий мир как потенциально опасный, в отличие от тех, у кого тревожность ниже.

Тревожность можно описать тремя основными признаками:

– специфические неприятные чувства;
– соматические реакции, такие как учащенное сердцебиение и повышенное давление;
– осознание этих переживаний человеком.

Следует отметить, что Фрейд выделял три вида тревожности:

– объективная, связанная с реальной угрозой из внешнего мира;
– невротическая, возникающая от неопределенных опасностей;
– моральная, интерпретируемая как «тревожность совести».

Хотя тревога и страх имеют схожую онтологическую природу, они различаются: страх имеет конкретный объект, который можно анализировать, тогда как тревога – это более абстрактное состояние.

С тревогой ситуация иная, поскольку у нее отсутствует конкретный объект. Это делает невозможным изменение отношения к этому объекту. Лицо, охваченное тревожным состоянием, полностью отдается ему и не имеет поддержки. Хотя страх и тревога имеют разные источники, они тесно взаимосвязаны и часто влияют друг на друга.

А. И. Захаров в своих исследованиях отмечал, что тревога может восприниматься не только негативно, но также проявляться как радостное волнение или ожидание. В зависимости от психической структуры ребенка, его жизненного опыта и отношений с окружающими, чувство беспокойства может трансформироваться в тревогу или страх. Индивид, испытывающий недомогание, склонен чувствовать тревогу, тогда как тот, кто боится конкретных объектов или мыслей, испытывает страх.

По классификации Зигмунда Фрейда можно выделить три вида тревожности:

– реальную, обусловленную объективными факторами;
– невротическую, связанную с интуитивной опасностью;
– моральную, возникающую из внутренних норм и запретов.

Все формы тревожных расстройств имеют тенденцию к хроническому течению и могут усугубляться в периоды высокого стресса. Для диагностики используются критерии DSM-5, предложенные Американской психиатрической ассоциацией [3].

Часто у пациентов наблюдается зацикленность и чрезмерная фиксация на повседневных ситуациях, а также выражается следующими симптомами: нарушения сна, мышечные спазмы, повышенная утомляемость, двигательное беспокойство, нарушения когнитивных функций, эмоциональная нестабильность, которая проявляется в виде возбужденности, раздражительности или нервозности.

Как и в случае с другими психологическими расстройствами, первоочередное лечение тревожных состояний осуществляется с помощью психотерапии.

– Медикаменты используются очень редко, так как пациенты, как правило, ощущают значительное облегчение после первой консультации с психотерапевтом. Однако применение бета-адреноблокаторов может помочь уменьшить вегетативные симптомы, а транквилизаторы способны снизить уровень тревоги и мышечного напряжения, а также улучшить качество сна. В случае диагностики смешанного расстройства возможно назначение антидепрессантов. Все эти препараты следует принимать под контролем врача. Рассмотренные ниже варианты терапии требуют участия психиатра, медицинских специалистов или других лицензированных профессионалов.

– Когнитивно-поведенческая терапия (КПТ) нацелена на выявление, понимание и изменение негативных мыслительных и поведенческих паттернов, связанных с тревожностью, в ходе регулярных сессий с квалифицированным терапевтом, обладающим соответствующей подготовкой. Практикующие КПТ специалисты могут применять межличностную терапию (ИПТ) для формирования у клиентов навыков совладания и настоятельно рекомендовать им фиксировать свои мысли в течение недели, а также пробовать экспозиционную терапию, если это уместно для их состояния.

– Диалектическая поведенческая терапия (ДПТ) представляет собой уникальный вид когнитивно-поведенческой терапии. Слово «диалектика» обозначает философский подход, сосредоточенный на изучении различных, порой противоположных концепций, объединяющих

принятие и стремление к изменениям. Например, клиент может осознать и принять свою текущее состояние, одновременно испытывая желание изменить его в лучшую сторону. Основное внимание в ДПТ уделяется внимательности, что помогает людям замечать и пытаться осмыслить свои мысли по мере их возникновения.

– Экспозиционная терапия: как можно понять из названия, этот метод предполагает постепенное введение человека в стрессовую ситуацию в безопасных и контролируемых условиях.

– Основной целью является преодоление страха. На начальном этапе терапии пациенты многократно представляют себе ситуацию или объект, вызывающий страх, а также возможные реакции на него. Эта форма лечения, часто применяемая при обсессивно-компульсивном расстройстве, фобиях и посттравматическом стрессовом расстройстве, может использовать технологии виртуальной реальности или компьютерного моделирования для создания безопасной и реалистичной среды воздействия.

– Групповая терапия: этот термин охватывает различные терапевтические форматы, в которых участвует не только пациент, но и другие участники. Участвуя в группе, можно нормализовать собственный опыт, общаясь с окружающими, а также найти альтернативу для тех, кто не может позволить себе индивидуальную терапию. Подобные группы поддержки предоставляют возможность делиться опытом и давать рекомендации. Участие в группе помогает укрепить связи между людьми с похожими проблемами и подтверждает общность переживаний. Группы поддержки могут быть особенно полезны для людей с социальной тревожностью или генерализованным тревожным расстройством. Основная идея этих групп заключается в том, что, развивая дружеские отношения, участники смогут выявить и устранить источники своего беспокойства.

Практическое применение методов из групповой психотерапии в наших исследованиях показало, что применение различных психотерапевтических методик, дает возможность снижения уровня тревожности как психологического феномена, поскольку проведена коррекция и сделаны выводы о природе тревожности и возможных путях борьбы с ней. Борьба с тревожностью является очень важной задачей, поскольку данный феномен встречается повсеместно и в любом возрасте, с данной проблемой может столкнуться каждый. По этой причине рассмотрение тревожности как психологического феномена и распространение информации о симптомах, классификации, методах борьбы и последствиях является на данный момент приоритетом.

Библиографические ссылки

1. *Авакумова А. А.* Способы борьбы с тревожностью .Уфа, 2022

2. *Туманова А. В., Горькая Ж. В.* Тревожность как психологический феномен и ее причины / Научный лидер 2023

3. *Сорокина А. И., Романова А. И.* Тревожность как психологический феномен / Издательство МГУ, Москва. 2024

ВЛИЯНИЕ ЖИЗНЕННЫХ РЕАЛИЙ НА ЗДОРОВЬЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

О. Н. Онищук[1)], М. М. Круталевич[1)], Н. А. Гришанович[1)], П. Г. Сыманович[1)], А. М. Шахлай[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, olesiao1980@mail.ru*

В статье описаны результаты анкетирования по некоторым значимым жизненным реалиям, влияющим на состояние здоровья, самочувствие и работоспособность студентов учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета. В результате анонимного опроса выявлена экологическая обстановка мест проживания респондентов до поступления в институт, проведена самооценка состояния здоровья, продолжительности двигательной активности, пассивного отдыха, а также конкретизированы вредные привычки, которые имеют студенты.

Ключевые слова: здоровье; здоровый образ жизни; студенты; двигательная активность; экологическая обстановка; заболевания; сон; вредные привычки.

THE INFLUENCE OF LIFE REALITIES ON THE HEALTH OF STUDENTS

O. N. Onishchuk[1)], M. M. Krutalevich[1)], N. A. Grishanovich[1)], P. G. Symanovich[1)], A. M. Shakhlai[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olesiao1980@mail.ru*

The article describes the results of a survey on some significant life realities that affect the health, well-being and performance of students of International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University. As a result of an anonymous survey, the environmental conditions of the respondents' places of residence before entering the institute were identified, a self-assessment of their health, duration of physical activity, passive rest was carried out, and the bad habits that students have were specified.

Keywords: health; healthy lifestyle; students; physical activity; environmental conditions; diseases; sleep; bad habits.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-390-394

Проблема сохранения и укрепления здоровья населения является одной из приоритетных задач государства, а также мирового общества в целом. Здоровье человека, как известно, зависит на 20 % от наследственных факторов, на 10 % – от медицинского обслуживания, на 20 % – от экологии и на 50 % – от образа жизни [1]. Следовательно, по мнению специалистов важнейшим фактором, влияющим на состояние здоровья человека, является образ жизни. Именно на этот значимый фактор можно воздействовать, так как целенаправленная работа над коррекцией образа жизни может служить механизмом предупреждения заболеваний различных нозологических групп. Оптимизация образа жизни человека способствует нормализации функционирования систем и органов организма, оказывает профилактическое влияние, способствует снижению заболеваемости и увеличению продолжительности жизни.

Цель исследования – выявить с помощью анкетирования некоторые значимые факторы жизненных реалий, влияющие на здоровье студентов: экологическую обстановку мест проживания, состояние здоровья, двигательную активность, пассивный отдых и вредные привычки.

Методы исследования – анализ и обобщение научно-методической литературы, анкетирование, статистическая обработка данных.

В анонимном анкетировании приняли участие студенты учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета. Анкетирование проводилось в феврале 2025 г. Анкета состояла из вопросов, направленных на уточнение экологической ситуации мест проживания до поступления в институт, а также выявление состояния здоровья и образа жизни студентов [2].

Всего в анкетировании приняло участие 215 студентов 1–3 курса (первый курс – 47 %, второй – 37,7 %, третий – 15,3 %). На вопрос «Укажите, пожалуйста, населенный пункт, в котором Вы проживали последние несколько лет до поступления в институт?» половина респондентов указали административные центры Беларуси – 50,8 % (из них в г. Минске – 40,5 %), другие города нашей республики – 31,7 %, агрогородки и деревни – 17, 5 %.

На следующий вопрос «Какая экологическая ситуация, на Ваш взгляд, была в месте проживания до поступления в институт?» 89,7 % анкетируемых положительно отозвались об экологической обстановке места проживания (42,7 % выбрали позицию «хорошая» и 47 % «скорее хорошая, чем плохая»), а остальные – 10,3 % посчитали экологическую обстановку неблагоприятной (7 % отдали предпочтение позиции «скорее плохая, чем хорошая» и 3,3 % «плохая»). Более детальный анализ анкетирования показал, что оценка экологической обстановки, в которой проживали до поступления в институт респонденты, в целом завышена [3; 4]. Вероятно, это связано с тем, что почти половина студентов, принявших участие в анкетировании, учатся на первом курсе и еще не владеют знаниями об экологической ситуации различных городов и других населенных пунктов в республике.

Далее студенты оценивали состояние своего здоровья (таблица). Установлено, что большинство респондентов выбрали позицию «хорошее, чем плохое» – 59,5 %, затем следовало «хорошее» – 26,5 %, «плохое» – 8,4 % и «скорее плохое, чем хорошее» – 5,6 %. То есть большинство студентов (86 %) положительно отзываются о состоянии своего здоровья.

Таблица

Оценка состояния своего здоровья студентами, выявленная в результате анкетирования

Оценка состояние здоровья	Кол-во ответов, %
хорошее	26,5
скорее хорошее, чем плохое	59,5
скорее плохое, чем хорошее	5,6
плохое	8,4

Следующие вопросы были направлены на выявление количества практически здоровых студентов, а также уточнение заболеваний у тех, кто их имеет. Как оказалось, примерно половина анкетируемых 51,6 % имеют одно или несколько хронических заболеваний, соответственно 48,4 % – практически здоровые студенты. У респондентов встречаются следующие хронические болезни:

– костно-мышечной системы и соединительной ткани – 41,8 %;
– глаза и его придаточного аппарата – 38,8 %;

– системы кровообращения – 20,1 %;
– эндокринной, пищеварительной системы, нарушения обмена веществ – 18,7 %;
– органов дыхания – 14,4 %;
– нервной системы – 5,8 %;
– иных органов и систем – 25,2 %.

Следует отметить, что студенты, несмотря на наличие у половины из них хронических заболеваний, положительно оценивают состояние своего здоровья (таблица). Вероятно это связано с тем, что их патологии были выявлены относительно недавно и еще не влияют на качество жизни.

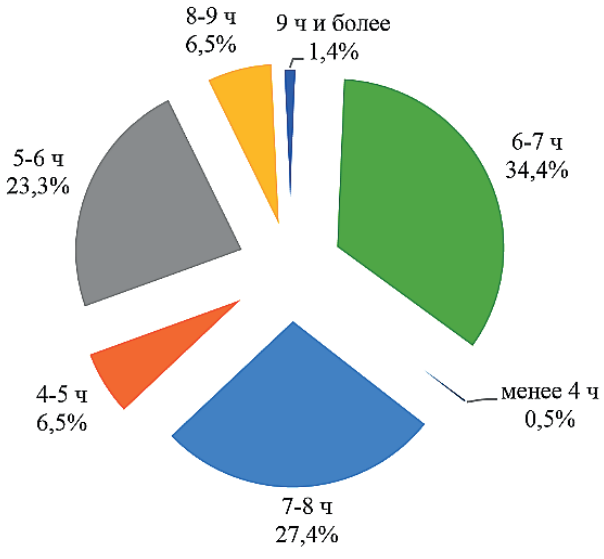
Сравнение с проведенными ранее исследованиями по заболеваемости студентов показало приблизительно такой же результат по нозологическим группам: у анкетируемых также преобладали хронические болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, глаза и его придаточного аппарата, а также системы кровообращения [5; 6].

Что касается вопроса о самооценке двигательной активности респондентов, то большинство из них считают ее оптимальной – 67 %, далее почти одинаковое количество отметили низкая и высокая – 15,8 % и 15,3 % соответственно, несколько человек как очень низкая – 1,9 %. При этом в результате конкретизации двигательной активности анкетируемых установлено, что двигаются (пешие переходы в институт, магазины, уборка и т. п.) примерно до часа в день – 1 %, 1–2 ч – 9,3 %, 2–3 ч – 24,7 %, 3–4 ч – 25,6 %, 4–5 ч – 15,8 %, более 6 ч – 23,6 %. Учитывая нормативные показатели двигательной активности, предложенные Н.М. Амосовым, И.В. Муравовым, а также П.А. Назаровым (16–18 часов в неделю), результаты анкетирования свидетельствуют о недостаточной двигательной активности у 10,3 %, оптимальной – у 24,7 %, выше нормативных величин у 51,7 %, чрезмерной – у 13,3 %. Таким образом, конкретизация данных показала, что только у 1/3 респондентов такая самооценка является адекватной и значительно отличается от показателей ответов на предыдущий вопрос, поскольку самооценка двигательной активности соответствовала позиции «оптимальной» у большинства студентов (67 %).

Исследования двигательной активности, проведенные ранее, свидетельствуют, что студентов с недостаточной двигательной активностью в 2019 году было в 2 раза больше (20 %), чем в 2025 г., а с оптимальной – приблизительно такое же количество (27 %) [7]. Уменьшение лиц с гиподинамией скорее всего обусловлено активной пропагандой средств массовой информации ее значимости для сохранения и укрепления здоровья.

Как известно, для обеспечения нормальной работоспособности студента необходимо рациональное сочетание активной деятельности с отдыхом. Сон представляет собой пассивный отдых организма и является важной составляющей здорового образа жизни человека, так как очень важен не только для полноценного восстановления организма, но и для активной умственной работоспособности. Недостаток сна снижает работоспособность человека, приводит к снижению иммунитета, развитию артериальной гипертонии, повышает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, нарушается обмен глюкозы, что приводит к сахарному диабету, повышает аппетит, человек набирает лишний вес. Из-за недосыпания снижается контроль над эмоциональным состоянием, наблюдается раздражительность и агрессивность, ухудшаются внимание и память, затрудняется восприятие информации. При этом считается, что излишний сон так же вреден, как и недосыпание [8]. В норме сон человека составляет 7–9 часов в сутки.

В результате анкетирования установлено, что в среднем сон анкетируемых студентов составляет: менее 4 ч – 0,5 %, 4–5 ч – 6,5 %, 5–6 ч – 23,3 %, 6–7 ч – 34,4 %, 7–8 ч – 27,4 ч, 8–9 ч – 6,5 %, 9 ч и более – 1,4 % (рисунок).



Средняя продолжительность сна студентов, выявленная в результате анкетирования

Таким образом, хроническое недосыпание наблюдается примерно у одной трети студентов (30,3 % спят до 6 часов), норма – у большинства (68,3 %), а излишний сон наблюдается у 1,8 %. Таким образом, примерно 1/3 студентов из-за нарушения режима сна потенциально находятся в группе риска по состоянию здоровья.

Важнейшим аспектом здорового образа жизни является отсутствие вредных привычек. При анкетировании установлено, что у большинства студентов вредные привычки отсутствуют – 68,4 %. Остальные респонденты могли выбрать лишь одну, наиболее выраженную вредную привычку, указанную в анкете. Как выяснилось, наиболее распространенной из вредных привычек является курение – 19 % опрошенных (вейпы курят 15,3 %, сигареты – 3,7 % студентов), частый прием алкогольных напитков выявлен у 1,9 % респондентов, имеют другие вредные привычки – 10,7 % студентов. Следует отметить, что курение вейпов является более привлекательным для студентов, однако вред для здоровья от такой привычки, возможно, больший, чем от курения сигарет. Сравнительный анализ результатов анкетирования по данной позиции 2021 и 2025 годов показал, что в 2021 году такая вредная привычка как курение была характерна для 30,9 % студентов (в 2025 году – 19 %), при этом без вредных привычек отмечено примерно такое же число респондентов (69,1 %) [9].

Таким образом, с помощью анкетирования студентов установлено, что примерно у половины респондентов экологическая обстановка мест проживания до поступления в институт не вполне благоприятная и приблизительно такое же количество имеются хронические заболевания. Можно предположить, что наличие патологий у студентов взаимосвязано с экологической ситуацией, но для этого необходимо более углубленное исследования этой проблемы. Примерно у 1/4 анкетируемых двигательная активность соответствует оптимальному значению, в то же время примерно у 1/3 отмечается нарушение сна и наличие вредных привычек. В этой связи для коррекции состояния здоровья необходим поиск средств, позволяющих воздействовать на культуру здорового образа жизни студентов.

Библиографические ссылки

1. Физическая культура: электронный учебно-методический комплекс для студентов) [Электронный ресурс] / М. М. Круталевич [и др.]. Режим доступа: http://www.iseu.bsu.by/wp-content/uploads/2018/10/E%60UMK-Fizicheskaya-kultura_MBD-ME%60-POD-ISiT-E%60TiE%60M-YAiRB-MF_PASS.pdf. (электронное пособие, более 3-х авторов). города Беларуси

2. Рабочая тетрадь по учебной дисциплине «Физическая культура». В 2 ч. Ч. 1. Основное и подготовительное учебные отделения: [учеб.-метод. пособие] / М. М. Круталевич [и др.]; под ред. М. М. Круталевича. − Минск: ИВЦ Минфина, 2023. 64 с.

3. Самые грязные города Беларуси. Лаборатория измерения и охраны труда. https://laboratoria.by/stati/samyye-gryaznyye-goroda-belarusi.

4. В каких городах самый загрязненный воздух / Точка. https://tochka.by/articles/life/v_belgidromete_nazvali_goroda_belarusi_s_khudshim_kachestvom_atmosfernogo_vozdukha.

5. *Онищук О. Н., Круталевич М. М.* Исследование заболеваний студентов МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ как основа для эффективности занятий физической культурой // Научно-методическое обеспечение физического воспитания и спортивной подготовки студентов вузов [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. конф., Респ. Беларусь, Минск, 1–2 нояб. 2018 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. А. Коледа (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2018. С. 571–573.

6. *Онищук О. Н., Круталевич М. М., Попова Г. В.* Заболевания студентов 1 курса МГЭИ ИМ. А. Д. Сахарова БГУ, отнесенных по состоянию здоровья к специальной медицинской группе // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века : материалы 18-й международной научной конференции, 17–18 мая 2018 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 3 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та ; редкол.: А. Н. Батян [и др.] ; под ред. С. А. Маскевича, С. С. Позняка. Минск, 2018. Ч. 3. С. 250–252.

7. *Хилькевич А. А, Онищук О. Н.* Двигательная активность студентов МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ // Probleme actuale ale teoriei şi practicii culturii fizice, conferinţă ştiinţifică internaţională studenţească: Materialele Conferinţei Ştiinţifice Internaţionale Studenţeşti, Ediţia a 22-a, 11 aprilie 2019. – Chişinău: USEFS, 2019. С. 63–66.

8. *Карпов Т. В.* Влияние сна на организм человека [Электронный ресурс] / Наука, техника, образование. file:///C:/Users/User/Downloads/vliyanie-sna-na-organizm-cheloveka.pdf. С118–120

9. Проблема курения студентов в аспекте реализации целей устойчивого развития / М.М.Круталевич [и др.] // Научно-методическое обеспечение физического воспитания и спортивной подготовки студентов [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.- практ. онлайн-конф., Респ. Беларусь, Минск, 28 янв. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Ю. И. Масловская (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2021. С. 111–117.

ОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: КАК ПОДГОТОВИТЬ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В. Е. Пинаев[1)], **В. Н. Ухова**[1)]

[1)] *Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Подольское шоссе, 8, 115093, Москва, Российская Федерация, pinaev-ve@rudn.ru*

В статье рассматриваются ключевые аспекты образования для устойчивого развития в свете изменений климата. Акцентируется внимание на необходимости подготовки специалистов, способных эффективно решать проблемы в области изменения климата. Обсуждаются методы интеграции аспектов устойчивого развития в образовательные программы. Особое внимание уделяется практическому опыту авторов в части подготовки кадров для целей устойчивого развития, способствующим развитию навыков для решения проблем изменения климата, который включает в себя разработку онлайн-курса и использование калькуляторов и расчетных моделей для обучения количественной оценке выбросов парниковых газов и углеродного следа продукции.

Ключевые слова: парниковые газы; климатическое образование; устойчивое развитие; изменение климата; подготовка специалистов; ESG; климатическая повестка; углеродное регулирование; углеродный след.

EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: HOW TO PREPARE PROFESSIONALS TO MEET THE CHALLENGES OF CLIMATE CHANGE

V. E. Pinaev[1)], **V. N. Ukhova**[1)]

[1)] *Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Podolskoye Highway, 8, 115093, Moscow, the Russian Federation, pinaev-ve@rudn.ru*

The article examines key aspects of education for sustainable development in light of climate change. It focuses on the need to train specialists who can effectively address climate change issues. Methods for integrating sustainable development aspects into educational programs are discussed. Particular attention is paid to the authors' practical experience in training personnel for sustainable development goals that contribute to the development of skills to address climate change issues, which includes the development of an online course and the use of calculators and calculation models to teach quantitative assessment of greenhouse gas emissions and the carbon footprint of products.

Keywords: greenhouse gases; climate education; sustainable development; climate change; training of specialists; ESG; climate agenda; carbon regulation; carbon footprint.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-395-398

Климатические изменения оказывают влияние на отрасли промышленности, экономику и общество. В рамках статьи будет рассмотрена важность образования для повышения осведомленности о проблемах изменения климата, а также эффективные методы внедрения образовательных продуктов. Особое внимание будет уделено современным подходам к обучению, включая использование технологий и междисциплинарных методов.

В настоящее время дошкольное и школьное образование не включает в себя изучение вопросов изменения климата. В программы высшего образования уже интегрируется устойчивое развитие, созданы программы бакалавриата и магистратуры на базе ведущих ВУЗов страны, но требуется расширение и углубление этих программ в соответствии с реальными задачами. Также, существуют программы повышения квалификации и профессиональной переподготов-

ки, связанные с устойчивым развитием. Крупные компании бизнеса также занимаются разработкой образовательных продуктов и обучением персонала в части устойчивого развития.

В связи с появлением подразделений, выполняющих функции устойчивого развития в компаниях, в последние несколько лет наблюдается рост числа вакансий в сфере устойчивого развития. Включение дисциплин, связанных с устойчивым развитием и климатом, в программы образовательных организаций является ответом на растущие требования рынка труда. Оценка вклада бизнеса в изменение климата, оценка углеродного следа продукции, разработка климатической стратегии и внедрение низкоуглеродных технологий требуют привлечения квалифицированных кадров.

Онлайн-курс «Парниковые газы в аспекте углеродного регулирования»[1]

Онлайн-курсы имеют массу преимуществ по сравнению с традиционными формами обучения. Среди них возможность совмещать основное обучение или работу с дополнительным обучением на онлайн-курсах в соответствии с принципом непрерывного образования, академическая мобильность – возможность ликвидировать разницу в учебных планах, например, при переводе на другую образовательную программу возможность использования курса обучающимися, при невозможности присутствовать на аудиторных занятиях.

Нами был выпущен курс «Парниковые газы в аспекте углеродного регулирования». Курс состоит из 5 модулей. Первый модуль вводный, он посвящен парниковым газам и документам в области углеродного регулирования. В рамках этого модуля рассмотрены общие вопросы, касающиеся парниковых газов, также этот модуль знакомит слушателей с международными и национальными документами углеродного регулирования. В данном модуле формируется понятийный аппарат, который позволит студентам овладеть терминологией, использующейся в последующих модулях курса. Во втором модуле изучаются риски, связанные с изменением климата. Слушатели узнают, как классифицируются климатические риски, какие существуют климатические риск-факторы и риски. Кроме того, рассмотрены последствия реализации климатических рисков и, конечно же, о мероприятия по митигации данных рисков. Третий модуль посвящен количественной оценке выбросов парниковых газов. В нем рассмотрены основные стандарты и методологии количественной оценки выбросов парниковых газов, категории и источники выбросов. Также проведен разбор примеров расчета прямых и косвенных энергетических выбросов парниковых газов. В четвертом модуле изучаются климатические проекты. Рассмотрено какие бывают виды климатических проектов и успешные кейсы их реализации на территории России. В пятом модуле происходит знакомство слушателей с процессами валидации и верификации выбросов парниковых газов: чем занимаются органы валидации и верификации парниковых газов и аспекты их аккредитации.

Также в курсе представлены интервью с ведущими специалистами в сфере устойчивого развития, климата и экологии. Курс охватывает достаточно широкий спектр тем в области парниковых газов и углеродного регулирования, что позволяет сформировать базовые знания и компетенции. Материалы курса могут быть применены в различных областях деятельности для решения проблем изменения климата и создания устойчивого будущего.

Курс адресован студентам экологических и эколого-экономических специальностей, интересующихся аспектам углеродного регулирования, рисками, связанными с изменением климата, количественной оценкой выбросов парниковых газов, климатическими проектами и вопросами валидации и верификации парниковых газов. Курс также может быть полезен молодым специалистам, начинающим деятельность в сфере экологии или устойчивого развития, либо

[1] Парниковые газы в аспекте углеродного регулирования [Электронный ресурс]. 2024. URL: https://stepik.org/204347 (дата обращения 15.01.2025)

специалистам, желающим сменить области деятельности на новую, связанную с устойчивым развитием. Данный курс может быть частью дисциплин, в рамках которых рассматривается проблема изменения климата: «Климатические проекты», «Валидация и верификация парниковых газов», «Устойчивое развитие» и подобных.

Калькуляторы и расчетные модели для обучения количественной оценке выбросов парниковых газов и углеродного следа продукции

Существуют различные методологии количественной оценки выбросов парниковых газов, часто к ним прилагаются руководства или мануалы, содержащие пояснения и формулы. Однако, чтобы овладеть навыками количественной оценки выбросов парниковых газов может быть недостаточно только лишь ознакомления с текстом методологии и формулами расчета. Работа с калькуляторами и автоматизированными расчетными моделями является ключевым фактором успешного освоения навыков количественной оценки выбросов парниковых газов и углеродного следа продукции.

Автоматизированные расчетные модели содержат вкладки с исходными данными, необходимыми для количественной оценки, непосредственно вкладки с расчетом выбросов парниковых газов в разбивке на Охват 1, Охват 2 и Охват 3, вкладки с коэффициентами выбросов, а также вкладки со справочными данными для преобразования единиц. Каждая вкладка содержит инструкцию по работе с ней. Такие расчетные модели требуют только выбор источников выбросов из выпадающего списка и внесение соответствующих исходных данных в указанных единицах измерения на вкладке с исходными данными. Все ячейки модели имеют предустановленное условное форматирование, при котором некорректно заполненные ячейки подсвечиваются определенным цветом в зависимости от характера ошибки, например неверная единица измерения или использование неправильного разделителя, внесение значения в текстовом формате вместо числового и другие. После корректного внесения исходных данных, на расчетных вкладках автоматически осуществляется количественная оценка выбросов парниковых газов с возможностью прослеживания используемых формул и необходимых коэффициентов, даются комментарии к расчету.

Данный метод обучения показал себя на практике как наиболее эффективный, поскольку он формирует практические навыки. Студенты, прошедшие подобное обучение, могут разрабатывать расчетные модели для своих целей сразу после прохождения обучения.

Это достигается благодаря нескольким факторам:

– Визуализация данных. Модели имеют визуальные представления, что помогает лучше понять взаимосвязи между различными факторами, влияющими на выбросы парниковых газов.

– Интерактивность и гибкость. Пользователи могут экспериментировать с различными сценариями и данными, что способствует изучению и пониманию влияния различных факторов на выбросы парниковых газов.

– Обратная связь. При использовании моделей возможно быстрое получение обратной связи о правильности вводимых данных и корректности расчетов, что помогает пользователям учиться на своих ошибках.

– Обновляемость и актуальность информации. При обновлении методологии модели могут быть легко обновлены в соответствии с новыми данными, что гарантирует, что пользователи работают с актуальной информацией.

Выводы

– Климатическое образование помогает осознавать последствия изменения климата и искать решения для борьбы с ним на локальном и глобальном уровне.

– Бизнес ощущает на себе влияние климатических изменений, что заставляет компании разрабатывать образовательные продукты в части устойчивого развития и климата, а также

является драйвером включения дисциплин по устойчивому развитию в образовательные программы учебных заведений по причине роста числа вакансий на рынке труда.

– Онлайн-курс «Парниковые газы в аспекте углеродного регулирования» охватывает достаточно широкий спектр тем в области парниковых газов и углеродного регулирования, что позволяет сформировать базовые знания и компетенции, материалы курса могут быть применены в различных областях деятельности для решения проблем изменения климата и создания устойчивого будущего.

– Использования калькуляторов и расчетных моделей в целях обучения показало себя на практике как наиболее эффективный метод обучения, поскольку он формирует практические навыки благодаря визуализации данных, интерактивности, получению обратной связи и актуальности информации.

Библиографические ссылки

1. *Любчик О. А., Пинаев В. Е., Ухова В. Н.* Особенности углеродного регулирования в Республике Беларусь и Российской Федерации: сравнительный анализ и тенденции. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ: 2024; 67(5):452-470.

2. *Пинаев, В. Е., Ухова В. Н.* Требования к документации и анализ существующей практики подготовки документов для создания и функционирования органа по валидации и верификации парниковых газов. Москва : Мир науки, 2024. 172 с.

3. *Пинаев, В. Е., Ухова В. Н., Ледащева Т. Н.* Направления, опыт и перспективы реализации климатических проектов в России [Электронный ресурс] // Отходы и ресурсы. 2023. Т 10. №2. URL: https://resources.today/PDF/17ECOR223.pdf (дата обращения: 25.02.2025).

4. *Пинаев, В. Е., Ухова В. Н.* Анализ физических и переходных рисков, связанных с изменением климата и обзор митигационных мероприятий в различных отраслях промышленности [Электронный ресурс] // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 4. URL: https://esj.today/PDF/34ECVN424.pdf (дата обращения: 25.02.2025).

5. *Ухова, В. Н., Пинаев, В. Е.* Лучшая практика по подготовке климатического раздела нефинансовых отчетов компаний горнодобывающей отрасли: результаты исследования [Электронный ресурс] // Отходы и ресурсы. 2024. Т 11. №4. URL: https://resources.today/PDF/06ECOR424.pdf (дата обращения: 25.02.2025).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ И БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЕ КАК ИМПЕРАТИВ «ЗЕЛЕНОЙ» ЭКОНОМИКИ (НА ПРИМЕРЕ КНР И РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)

С. И. Пупликов[1), 2)], **Д. С. Лагун**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, dekan402@gmail.com*
[2)] *Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», пр-т Независимости, 220, 220057, г. Минск, Беларусь*

Сегодня в мире «зеленое» развитие, экологический бизнес рассматриваются не иначе как императив. Большинство государств планеты серьезно трансформировало свою экологическую политику, которая в настоящее время выступает не как своеобразная нагрузка на экономику, а как активный драйвер социально-экономического роста. И в этом плане Китайская Народная Республика и Республика Беларусь не являются исключением.

Ключевые слова: Китайская Народная Республика; Республика Беларусь; экологические инновации и бизнес-планирование; экологический бизнес; «зеленая» экономика; возобновляемая энергетика; белорусско-китайское сотрудничество.

ENVIRONMENTAL INNOVATIONS AND BUSINESS PLANNING AS AN IMPERATIVE OF A «GREEN» ECONOMY (ON THE EXAMPLE OF CHINA AND THE REPUBLIC OF BELARUS)

S. I. Puplikov[1), 2)], **D. S. Lagun**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, dekan402@gmail.com*
[2)] *Educational Institution «Military Academy of the Republic of Belarus», Nezavisimosti Ave., 220, 220057, Minsk, Belarus*

Today, in the world, «green» development and environmental business are considered nothing less than an imperative. Most countries of the planet have seriously transformed their environmental policies, which currently act not as a kind of burden on the economy, but as an active driver of socio-economic growth. And in this regard, the People's Republic of China and the Republic of Belarus are no exception.

Keywords: the People's Republic of China; the Republic of Belarus; environmental innovation and business planning; environmental business; «green» economy; renewable energy; Belarusian-Chinese cooperation.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-399-402

Введение. Проблемы охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, а в конечном итоге «зеленого» развития, приобрели глобальный характер.

Окружающая нас природа и ее ресурсы выступают естественной основой жизнедеятельности и развития человеческого общества, являются источником роста благосостояния его членов, а также накопления материальных и культурных ценностей. Однако, в последнее время современный мир подвергается постоянно возрастающей антропогенной нагрузке:

Сегодня в мире «зеленое» развитие, экологический бизнес рассматриваются не иначе как императив. Большинство государств планеты серьезно трансформировало свою экологическую политику, которая в настоящее время выступает не как своеобразная нагрузка на эко-

номику, а как активный драйвер социально-экономического роста. И в этом плане Китайская Народная Республика и Республика Беларусь не являются исключением [1].

Основная часть. Цели и важнейшие приоритеты развития «зеленой» экономики, экологического бизнеса в Китайской Народной Республике и Республике Беларусь определяются 14-ым пятилетним планом развития зеленой промышленности в КНР и Национальным планом действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021-2025 годы [2; 3].

Концептуально важно определить в рамках реализации научного обеспечения перехода к «зеленой» экономике следующее теоретическую и методологическую дефиницию понятия «зеленая» экономика. «Зеленая» экономика функционирует и реализуется через совокупность последовательных экологических бизнес-моделей. Совокупность экологических бизнес-моделей концентрируется, приобретает законченную (теоретическую, методологическую и практическую) организационно-эколого-экономическую форму, выраженную в экологическом бизнесе.

Китай активно развивает собственную «зеленую» экономику, ставя перед собой стратегическую задачу – формирование экологически и социально здоровой среды обитания человека. При этом, к 2060 году Поднебесная обязуется достичь т.н. углеродной нейтральности. В Беларуси, в свою очередь, «зеленое» развитие имеет своей целью в экономической сфере – устойчивый рост, основанный на инновациях, в социальной – улучшение качества жизни граждан республики, а в экологической – снижение нагрузки на окружающую среду и повышение эффективности использования природного капитала. Результатом реализации указанных целей в наших двух странах должно стать обеспечение социально-экономической динамики в условиях сохранения природного капитала и повышения занятости населения и, как следствие этого, достижение целей устойчивого развития, содержащихся в резолюции Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций от 25 сентября 2015 года № 70/1 «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», а также гармонизация экологических, экономических и социальных интересов китайского и белорусского социума.

В обоих государствах интенсивно разрабатывается нормативная правовая база «зеленого» развития. Так, в преддверии прошедшей в конце октября – начале ноября 2021 г. в Шотландии конференции ООН по климату, Поднебесная обозначила национальную стратегию борьбы с глобальным потеплением. Были опубликованы сразу три профильных документа: «Белая книга о реакции на изменение климата», «Дорожная карта по прохождению пика эмиссий углерода к 2030 году» и «Руководство по достижению углеродной нейтральности к 2060 году» [4; 5]. В представленных материалах отмечается, что Китай отказался от предыдущей модели развития в ущерб экологии и в настоящее время стремится к балансу между интересами развития и снижением эмиссии углерода, привержен «зеленому» развитию и построению экологического общества. Задачи по снижению эмиссии углерода, повышению энергосбережения и энергоэффективности будут отражены в национальном законодательстве и планах развития страны. Из всех китайских нормативных правовых актов вычеркиваются пункты, противоречащие установкам снижения углеродного следа и достижения углеродной нейтральности. Стандарты низкоуглеродной динамики уже закрепляются в региональных стратегиях, а также в планах развития энергетической, транспортной, металлургической, строительной, нефтехимической и других отраслей народного хозяйства. Подтверждена политическая установка на жесткое сдерживание неконтролируемой экспансии энергоемких проектов с высоким уровнем эмиссий. Повышены обязательные стандарты энергоэффективности для производимого оборудования и бытовой техники.

В 2025-2026 учебном году по инициативе и распоряжению доктора биологических наук, профессора Олега Ивановича Родькина в Международном государственном экологическом институте им А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета (Республика Беларусь,

г. Минск) впервые в странах на постсоветском пространстве и ЕАЭС открывается подготовка магистров в рамках специальности «Экологические инновации и бизнес-проектирование бизнес». Выпускник магистратуры по специальности «Экологические инновации и бизнес-проектирование», это:

– эффективный бизнес-менеджер, экономист по разработке и реализации бизнес-проектов в «зеленой» экономике;

– продуктивный бизнес-менеджер по квалифицированной технико-эколого-экономической экспертизе проектов по поддержанию требуемого состояния окружающей среды и обеспечения управлением этими проектами для их самоокупаемости;

– эффективный бизнес-аналитик по оценке эффективности природопользования, обращения с твердыми коммунальными отходами (особенно выделим аспект работы с полимерными отходами);

– бизнес-аналитик по оценке энергетического потенциала возобновляемых источников энергии с использование современных методик и приборной базы, проектирования и реализации высокоэффективных технологий в области энергетики;

– востребованный бизнес-менеджер по разработке операционных механизмов финансовых инструментов «зеленого» финансирования национальной экономики;

– финансовый, кредитный эксперт по привлечению краткосрочного и долгосрочного финансирования для развития бизнес-проектов в «зеленой» экономике;

– финансовый, кредитный менеджер по привлечению денежных ресурсов на рынке «FOREX» с использованием инструментов «СПОТ», «ФОРВАРД», «ФЬЮЧЕРС», «ОПЦИОН»;

– финансовый, кредитный менеджер по привлечению денежных ресурсов на рынке ценных бумаг и фондовом рынке, рынках цифровых валют Биткоин и других.

В рамках образовательной программы подготовки магистров по специальности «Экологические инновации и бизнес-проектирование» Республике Беларусь в вопросах «зеленого» финансирования изучается опыт Поднебесной по привлечению частных инвестиций, в том числе на принципах государственно-частного партнерства. В этом же плане неоценимы двусторонние белорусско-китайские научные контакты в рамках методологического и методического обеспечения «зеленого» финансирования в соответствии с принятыми международными нормами, включая обоснование таксономии «зеленых» проектов с учетом национальных приоритетов развития, разработку стандартов оценки экологических рисков инвестиционных проектов и экологического аудита «зеленых» финансовых инструментов, определение действенных мер государственной поддержки «зеленого» финансирования и другое.

При разработке образовательной программы подготовки магистров по специальности «Экологические инновации и бизнес-проектирование» профессорский состав института исходит из того, что в Пекине нацелены строить Сообщество единой судьбы человечества, в т.ч. как экологической цивилизации, и уверены, что работать в этом направлении нужно сообща. Этот подход в рамках доверительного всестороннего стратегического партнерства и взаимовыгодного белорусско-китайского сотрудничества находит понимание и у белорусской стороны.

Заключение. Направления белорусско-китайского сотрудничества в сфере «зеленого» развития. Думается, что Республике Беларусь в вопросах «зеленого» финансирования будет полезен опыт Поднебесной по привлечению частных инвестиций, в том числе на принципах государственно-частного партнерства. В этом же плане неоценимы двусторонние белорусско-китайские научные контакты в рамках методологического и методического обеспечения «зеленого» финансирования в соответствии с принятыми международными нормами, включая обоснование таксономии «зеленых» проектов с учетом национальных приоритетов развития, разработку стандартов оценки экологических рисков инвестиционных проектов и экологического аудита «зеленых» финансовых инструментов, определение действенных мер государственной поддержки «зеленого» финансирования и другое.

Еще одной сферой двустороннего белорусско-китайского сотрудничества в сфере «зеленого» развития могла бы стать передача белорусской стороне китайского опыта создания системы поддержки снижения углеродного следа. Напомним, что важным шагом в этом направлении стал запуск в середине 2021 года китайской общенациональной системы торгов углеродными квотами. Данные торги представляют собой попытку перераспределения права на эмиссию углекислого газа от предприятий, выбросы которых находятся ниже установленного государством потолка, к компаниям, которые выходят за максимально допустимые нормы выброса.

Библиографические ссылки

1. 关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见 (Мнения по совершенствованию институциональных механизмов и политических мер для перехода к «зеленой» и низкоуглеродной энергетике) [Электронный ресурс]: извещение [2022] № 206 от Государственного управления по делам энергетики, 30 января 2022 г. // Государственный комитет по развитию и реформам КНР. Режим доступа: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202202/t20220210_1314511.html?code=&state=123 Дата доступа: 01.16.2024.

2. О Национальном плане действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 10 декабря 2021 г., № 710 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2021/nats.plan-po-razvitiju-zelenoj-ekonomiki.pdf Дата доступа: 16.01.2024.

3. 能源消费总量及构成 (Общее потребление энергии и состав): Китайский статистический ежегодник 2021, сентябрь 2021 г. // Государственное статистическое управление КНР. Пекин: Статистическое изд. Китая, 2021. С.288.https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202105/P020210526572756184785.pdf Дата доступа: 01.01.2024.

4. *Пупликов С. И.* “Ключевые элементы поведенческой экономики Союзного государства Республики Беларусь и Российской Федерации (Валютный аспект)”/ С.И. Пупликов/ “Детерминанты развития малого и среднего предпринимательства ”, материалы Международной науч.-практ.конф., , Минска 27–28 мая 2023 г. / Учреждение образования «Институт предпринимательской деятельности» Минск, 2023. С. 58.

5. *Голубев С. Г., Пупликов С. И., Цзяньбо Чэнь* “Турыстычная сфера Кітайскай Народнай Рэспублікі: тэндэнцыі пасляпандэмійнага развіцця”/ С.Г. Голубев, С.И. Пупликов, Чэнь Цзяньбо/ “Перспективы развития туризма в современных условиях: мировые тенденции и региональные контексты ”, материалы III Международной науч.-практ.конф., , Минска 28 сентября 2023 г. / Министерство спорту и туризма РБ экономики РБ Минск, 2023. С. 24-27.

ДА ПЫТАННЯ АБ КАНСТЫТУЦЫЙНЫМ ПРАЕКЦЕ АКАДЭМІКА А. Д. САХАРАВА

У. С. Пуцік

Установа адукацыі «Міжнародны дзяржаўны экалагічны інстытут імя А. Д.Сахарава» Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта, вул. Доўгабродская 23/1, 220070, Мінск, Рэспубліка Беларусь, vlkg2004mn@mail.ru

У артыкуле разглядаюцца палітычныя і філасофскія ідэі акадэміка А.Д. Сахарава, выкладзеныя ў праекце канстытуцыйнай мадэлі, прадстаўленай I з'езду народных дэпутатаў СССР 1989 г. Па задуме аўтара яна павінна была стаць канцэптуальным арыенцірам пры фармаванні Асноўнага закона Савецкага Саюза. Праект Канстытуцыі разглядаўся А.Д. Сахаравым як светапоглядная маральна-прававая аснова для выпрацоўкі канстытуцыйнага тэксту дзяржавы народнага дабрабыту.

Ключавыя словы: канстытуцыя; дзяржава; ідэя; закон; правы чалавека; свабода; мір; рэформа; улада.

К ВОПРОСУ О КОНСТИТУЦИОННОМ ПРОЕКТЕ АКАДЕМИКА А. Д. САХАРОВА

В. С. Путик

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д.Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Республика Беларусь, vlkg2004mn@mail.ru

В статье рассматриваются политические и философские идеи академика А. Д. Сахарова, изложенные в проекте конституционной модели, представленной I съезду народных депутатов СССР 1989 г. По замыслу автора она должна была стать концептуальным ориентиром при формировании Основного закона Советского Союза. Проект Конституции рассматривался А. Д. Сахаровым как мировоззренческая нравственно-правовая основа для выработки конституционного текста государства народного благоденствия.

Ключевые слова: конституция; государство; идея; закон; права человека; свобода; мир; реформа; власть.

ON THE ISSUE OF A. D. SAKHAROV'S CONSTITUTIONAL MODEL DRAFT

V. S. Putsik

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, vlkg2004mn@mail.ru

The article examines the political and philosophical ideas of Academician Andrei D. Sakharov, set out in the draft constitutional model presented to the First Congress of People's Deputies of the USSR in 1989. According to the author's idea, it was to become a conceptual guideline in the formation of the Basic Law of the Soviet Union. The draft Constitution was considered by A.D. Sakharov as an ideological, moral and legal basis for the development of the constitutional text of the state of national welfare.

Keywords: constitution, state, idea, law, human rights, freedom, peace, reform, power.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-403-407

У сярэдзіне 80-х гадоў XX стагоддзя ў эканоміцы і палітыцы СССР рэзка праявіліся татальныя крызісныя з'явы. У эканамічнай сферы яны выявіліся ў застоі, нарастанні навукова-тэхнічнага адставання ад Захаду, нізкім узроўні жыцця насельніцтва: пастаянны дэфіцыт прадуктаў харчавання і прамысловых тавараў, рост коштаў. Ва ўнутранай палітыцы крызіс праявіўся ў разлажэнні кіраўніцтва: зрошчванне партыйна-дзяржаўнага апарата з дзяльцамі ценявой эканомікі і злачыннасцю, герантакратыя. Прадухіленне тэндэнцыі развіцця і нарастання крызісных з'яў патрабавала аператыўнага і кардынальнага рэфармавання сацыяльна-эканамічных і палітычных асноў Савецкага Саюза.

У 1984 г. Пленум ЦК КПСС абраў новым лідэрам партыі і дзяржавы Міхаіла Гарбачова. Але абвешчаныя Гарбачовым эканамічныя пераўтварэнні, якія атрымалі назву «Паскарэнне», не вытрымлівалі праверку часам. У 1987 г. кіраўніцтва краіны адмовілася ад «канцэпцыі паскарэння» планавай эканомікі, якую не ўдалося разагнаць адміністрацыйнымі метадамі. Было вырашана «перабудаваць» савецкую эканоміку на новы лад, а менавіта перавесці жорстка цэнтралізаваную, планава-дзяржаўную гаспадарку на рынкавую, таварна-грашовую аснову (пры захаванні сацыялізму).

Улетку 1988 г. на XIX Усесаюзнай партканферэнцыі Гарбачоў прапанаваў шэраг мер па перабудове палітычнай сістэмы: стварэнні двухпалатнага прадстаўнічага органа, які складаўся са З'езда народных дэпутатаў СССР і абіранага ім Вярхоўнай Рады СССР. У перыяд перабудовы ідэя дэмакратызацыі палітычнай сістэмы краіны была вельмі запатрабаваная, таму М. С. Гарбачоў прапанаваў заснаваць з'езд, які выбіраецца напрамую агульнанародным галасаваннем, дзе павінны былі разглядацца і вырашацца найважнейшыя пытанні краіны.

З'езд быў заснаваны Законам СССР ад 1 снежня 1988 г. «Аб зменах і дапаўненнях Канстытуцыі СССР» з мэтай дэмакратызацыі палітычнага ладу СССР. Выбары народных дэпутатаў СССР 1989 г. упершыню ў гісторыі Савецкага Саюза праводзіліся на альтэрнатыўнай аснове. Дэпутаты абіраліся на 5 гадоў.

Дзякуючы гэтым палітычным навацыям савецкі фізік-тэарэтык, акадэмік АН СССР, адзін са стваральнікаў першай савецкай вадароднай бомбы, дысідэнт і праваабаронца А.Д. Сахараў у красавіку 1989 г. быў абраны дэпутатам I з'езда народных дэпутатаў СССР. Андрэй Дзмітрыевіч прымаў актыўны ўдзел у рабоце з'езда і Міжрэгіянальнай дэпутацкай групы, сустаршынёй якой ён стаў. Гэта была сапраўдная дэмакратычная апазіцыя складу з'езда. Менавіта Сахараў вылучыў праект Дэкрэту аб уладзе, які адмяняў 6-ы артыкул Канстытуцыі СССР аб кіруючай ролі КПСС.

У лістападзе 1989 г., будучы членам Канстытуцыйнай камісіі з'езда, народны дэпутат Сахараў прадставіў свой праект Канстытуцыі Саюза Савецкіх Рэспублік Еўропы і Азіі. Яго праект аказаўся адзіным, пададзеным старшыні камісіі Гарбачову [1].

Ініцыятыва дзяржаўнага пераўладкавання Савецкага Саюза, прапанаваная А.Д. Сахаравым у праекце новай канстытуцыі, стала своеасаблівым палітычным шокам для кіраўніцтва краіны.

У аснову праекта была закладзена класічная тэорыя грамадскай дамовы паміж насельніцтвам і дзяржавай. Праект кардынальна карэкціраваў асновы палітычнай, прававой і эканамічнай сістэм Савецкага Саюза, вызначаў новыя мэты дзяржавы, якую ён бачыў як краіну народнага дабрабыту.

Правобразамі сучасных канстытуцый можна лічыць законы, якія ўсталёўваліся яшчэ ў старажытнагрэцкіх полісах, як правіла, адмысловымі заканадаўцамі, з якіх найболей вядомыя законы Салону і Клісфена ў Афінах. У Рыме ў ролі такога заканадаўца выступіў цар Сервій Тулій. Як асаблівы дакумент канстытуцыя ўзнікла на пэўным этапе развіцця грамадства для абмежавання каралеўскага і феадальнага самавольства. Першая канстытуцыя, дзе заяўлена, што гэта асноўны ўстаноўчы закон, была прынята ў ЗША у 1787 г.

Адзначым, што ў Расійскай імперыі першымі дакументамі канстытуцыйнай ўласцівасці (не лічачы Канстытуцыі Царства Польскага 1815, якая насіла лакальны характар) былі агуль-

нарасійскія акты – Маніфест імператара Мікалая II «Аб удасканаленні дзяржаўнага парадку» ад сямнадцатага кастрычніка 1905 г. і Асноўныя дзяржаўныя законы 1906 г.

Пасля Кастрычніцкай рэвалюцыі 1917 г. у Савецкай рэспубліцы канстытуцыйныя асновы грамадскага і дзяржаўнага ладу ўпершыню ў абагульненай форме былі замацаваны трэцяга студзеня 1918 г. у Дэкларацыі правоў працоўнага і эксплуатуемага народа і рэзалюцыі трэцяга Усерасійскага з'езда Саветаў ад пятнадцатага студзеня 1918 г. «Аб Федэральных установах Расійскай Рэспублікі».

Канстытуцыя СССР 1924 г. была распрацавана ў сувязі з утварэннем СССР. Яе асновай сталі Дэкларацыя аб адукацыі СССР і Дагавор аб утварэнні Саюза ССР 1922 г.

Канстытуцыя СССР 1936 г. распрацоўвалася Канстытуцыйнай камісіяй, якую ўзначаліў І. В. Сталін. Першапачаткова меркавалася ўнесці дапаўненні і выпраўленні ў дзейную Канстытуцыю, аднак у працэсе работы камісія прыйшла да высновы аб неабходнасці выпрацоўкі новай Канстытуцыі.

Пытанне аб неабходнасці ўнясення змяненняў у Канстытуцыю 1936 г. было пастаўлена М. С. Хрушчовым на XXI з'ездзе КПСС у сувязі з вылучаным тэзісам аб поўнай і канчатковай перамозе сацыялізму ў СССР і аб уступленні краіны ў перыяд разгорнутага будаўніцтва камунізму. Канстытуцыя была прынята на пазачарговай сесіі ВС СССР сёмага кастрычніка 1977 г. і неадкладна ўведзена ў дзеянне.

А ў канцы 1980-х гг., у ходзе перабудовы, Сахараў ініцыіруе праект новай канстытуцыі, дзе аўтар прапанаваў унесці істотныя змены і дапаўненні, накіраваныя на перазмеркаванне ўлады ад партыйных структур да дзяржаўных і выбарных органаў улады, на сапраўдны падзел заканадаўчай і выканаўчай улады.

Працу над праектам Андрэй Дзмітрыевіч пачаў летам 1989 г., неаднаразова да яго вяртаўся, уносячы ў яго карэктывы аж да сваёй раптоўнай смерці чатырнадцатага снежня таго ж года. Праект Канстытуцыі разглядаўся А.Д. Сахаравым як светапоглядная маральна-прававая аснова для выпрацоўкі канстытуцыйнага тэксту. Сам факт з'яўлення сахараўскага праекта ў лістападзе 1989 г. у публічнай прасторы ўнёс свой уклад у працэс дэсакралізацыі савецкай улады і, у прыватнасці, яе заканадаўчай функцыі.

Сахараўскі праект з'яўляўся праявай як грамадзянскай актыўнасці аўтара, так і яго навуковай пазіцыі. Для яго паспяховай рэалізацыі прынцыпова былі важныя наступныя фактары: а) публічнасць, б) своечасовасць, в) высокая якасць законапраектнага матэрыялу [2, с. 67–130].

Публічнасць, праекту практычна была забяспечана яшчэ да пачатку працы над тэкстам, паколькі з моманту вяртання А.Д. Сахарава са ссылкі ў Горкі кожны яго выступ, інтэрв'ю знаходзіліся ў цэнтры грамадскай увагі.

Сахараўскі праект дакладна адпавядаў моманту: поўным ходам ішла гарбачоўская «перабудова», пачала працу Канстытуцыйная камісія. М.С. Гарбачоў сам праявіў зацікаўленасць у тым, каб А.Д. Сахараў быў уключаны ў яе склад. Наступныя падзеі паказалі, што шэраг сахараўскіх канстытуцыйных ідэй – шматпартыйнасць, абарона прыватнай уласнасці («уласнасці грамадзяніна»), прамыя выбары кіраўніка дзяржавы – былі запатрабаваныя тагачасным палітычным часам і атрымалі канстытуцыйнае замацаванне

Трэці фактар – высокая якасць законапраектнага матэрыялу з якога быў складзены сахараўскі праект, на думку спецыялістаў не выклікала сумненняў. Аднак новая Канстытуцыя СССР увогуле так і не з'явілася на свет: у снежні 1991 г. савецкая дзяржава спыніла сваё існаванне. [2, с. 67-130].

Дадзены артыкул не прэтэндуе на падрабязны аналіз палажэнняў сахараўскага праекта. Адзначым на нашу думку прынцыповыя. Так па меркаванні аўтара важным кампанентам, закладзеным у аснову канстытуцыйнага праекта было вяршэнства права. Сахараў не зводзіў вяршэнства права да навядзення парадку з дапамогай юрыдычных устаноў. У Андрэя Дзмітрыевіча вера ў вяршэнства права была значна глыбейшай. Яна абапіралася на маральн-

ныя імператывы, у прыватнасці на служэнне грамадскаму дабру, што разумелася аўтарам не толькі на ўзроўні праваабароны або дабрачыннасці, але і глабальна – як клопат аб выжыванні чалавецтва.

Паводле перакананння Сахарава, жыццё, пазбаўленае высокага духоўнага пачатку, якое імкнецца да спажывецкіх мэт, становіцца пры такім падыходзе непаўнавартасным. Менавіта адсюль словы «сахараўскай Канстытуцыі» аб «шчаслівым, поўным сэнсу жыцці» (арт. 2).[3]. Вакол гэтых каштоўнасцяў, перш за ўсё дактрыны вяршэнства права, А.Д. Сахараў лічыў магчымым паступова фармаваць маральную салідарнасць грамадства.

Другім прынцыповым фактарам, на думку А.Д. Сахарава быў яго канцэпт канвергенцыі, які абапіраўся на рэальныя перавагі сучасных яму капіталізму і сацыялізму. Гэты канцэпт дазваляў прапанаваць шлях збліжэння дзвюх кардынальна непадобных сацыяльна-палітычных сістэм і растлумачыць працэс паступовага нарастання ў іх падобных рыс, аналагічных праблем і спосабаў іх вырашэння. «Раз'яднанасць чалавецтва пагражае яму гібеллю, – пісаў А.Д. Сахараў у 1968 г. – Цывілізацыі пагражаюць: усеагульная тэрмаядзерная вайна; катастрафічны голад для большай часткі чалавецтва; распаўсюджванне масавых міфаў, якія кідаюць цэлыя народы і кантыненты ва ўладу жорсткіх дэмагогаў. [4, с.72]

У праекце Канстытуцыі А.Д. Сахараў прапануе канструкцыю «канвергентнага» грамадства, якое павінна злучыць перавагі капіталізму і сацыялізму. Непасрэдная мэта канвергенцыі – «стварыць эфектыўную (што азначае рынак і канкурэнцыю) і сацыяльна справядлівую, экалагічна адказную сістэму» [5, с. 482].

Чырвонай рысай праз увесь праект праходзіла тэма правоў чалавека. Пяты артыкул праекта канстытуцыі дэкларавaў: «Усе людзі маюць права на жыццё, свабоду і шчасце. Мэтай і абавязкам грамадзян і дзяржавы з'яўляецца забеспячэнне сацыяльных, эканамічных і грамадзянскіх правоў асобы. Ажыццяўленне правоў чалавека не павінна супярэчыць правам іншых людзей, інтарэсам таварыстваў у цэлым. Грамадзяне і ўстановы абавязаны дзейнічаць у адпаведнасці з Канстытуцыяй і законамі Саюза і рэспублік і прынцыпамі Усеагульнай Дэкларацыі правоў чалавека ААН. Міжнародныя законы і пагадненні, падпісаныя СССР і новым Саюзам, у тым ліку Пакты аб правах чалавека ААН і Канстытуцыя Саюза, маюць на тэрыторыі Саюза прамое дзеянне і прыярытэт перад законамі Саюза і рэспублік». Аўтар дэкларавaў найперш права чалавека на мір у яго ўласнай краіне. Гэта дазваляе – па аналогіі з іншымі правамі чалавека – задзейнічаць перш за ўсё ўнутрыдзяржаўныя механізмы абароны правоў чалавека. Пры такім падыходзе парушэнні права чалавека на мір становяцца прапагандай тэрарызму, заклікам да гвалту над грамадзянамі, планаваннем, падрыхтоўкай, развязваннем або вядзеннем агрэсіўнай вайны.

А.Д. Сахараў не выключаў задзейнічанне механізмаў міжнароднай абароны правоў чалавека, бо ад прапаганды нацыянальнай або этнічнай варожасці, якая вядзецца ўнутры якой-небудзь краіны, могуць пацярпець грамадзяне і іншых дзяржаў. Акрамя таго, масавае парушэнне правоў чалавека, генацыд, з'яўляецца падставай для ўмяшання сусветнай супольнасці, бо стварае пагрозу міжнародным адносінам. Таму права на мір, на думку Сахарава, прадугледжвае перш за ўсё безумоўную і поўную павагу дзяржавамі правоў і свабод чалавека, зафіксаваных у міжнародным праве і нацыянальных канстытуцыях.

На сённяшні дзень ужо не існуе савецкай дзяржавы. Былыя рэспублікі Савецкага Саюза ўжо больш за трыццаць гадоў развіваюцца як самастойныя дзяржавы, а месца партыйна-палітычных механізмаў уплыву на саюзныя рэспублікі занялі эканамічныя інтэграцыйныя сувязі з сумежнымі дзяржавамі. Аднак было б памылкай лічыць сахараўскі праект значным выключна для гісторыкаў і спецыялістаў у галіне канстытуцыйнага права. Уяўляецца, што гэты дакумент быў напісаны «на выраст» і яго практычнае ўвасабленне яшчэ наперадзе, калі грамадства ўзвысіцца да разумення сваёй адказнасці за лёс чалавецтва, усведамляе неперахадзячую каштоўнасць «нацыянальнага альтруізму» [6].

Біябліяграфічныя спасылкі

1. *Абалкин Л. И.*, Перестройка: пути и проблемы : Интервью с советскими и иностранными журналистами (сентябрь 1986 – май 1988 г.). М. : Экономика, 1988. (Печатное издание, 1 автор)

2. Конституция Российской Федерации // Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс] // Российское историческое общество, Академический учебно-научный центр РАН-МГУ и Президентская библиотека им. Б.Н.Ельцина Электронный музей конституционной истории России, URL: https://bigenc.ru/c/konstitutsiia-rossiiskoi-federatsii-e3a198http://rusconstitution.ru/term/34/. (статья на сайте, без автора)

3. Конституция Союза Советских Республик Европы и Азии («проект Сахарова») [Электронный ресурс] // Электронный музей конституционной истории России, URL: http://rusconstitution.ru/library/constitution/articles/13131/. (проект конституции на сайте)

4. *Сахаров А. Д.* Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе // Тревога и надежда: в 2 т. М. : Время, 2006. Т. 1. (Печатное издание, 1 автор)

5. *Сахаров А. Д.* Тревога и надежда 2-е изд. М.: Ин- тер-Версо, 1991. (Печатное издание, 1 автор)

6. *Федотов М. А, Дейнеко А. Г.* Конституционные идеи академика Андрея Сахарова: взгляд из цифровой эпохи [Электронный ресурс] // https://tis.hse.ru/issue/view/1149/916 Труды по интеллектуальной собственности Том 44 2023. (дата обращения: 18.02.2025). (статья в электронном журнале, 2 автора)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ИЗМЕНЯЮЩИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ Г. МОГИЛЕВА, В КОНТЕКСТЕ СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

А. И. Щипец[1)], **Т. С. Лисина**[1)]

[1)] *ГУО «Средняя школа №37 г. Могилева», б-р Непокоренных 70, 212029, г. Могилев, Беларусь, zs-28@tut.by*

В данной статье рассматривается современные природные и природно-антропогенные геоморфологические процессы в среде г. Могилева, в контексте стратегии устойчивого развития. Стратегия реализации целей устойчивого развития (ЦУР) предусматривает сбалансированное решение социально-экономических задач, проблем сохранения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала.

Ключевые слова: урбанизированные территории; геоморфологические процессы; геологическая среда.

MODERN PROCESSES CHANGING THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF MOGILEV IN THE CONTEXT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY

A. I. Shchipets[1)], **T. S. Lisina**[1)]

[1)] *State Educational Institution «Secondary School No. 37 of Mogilev», Nepokorennykh street 70, 212029, Mogilev, Belarus, zs-28@tut.by*

This article examines modern natural and anthropogenic geomorphological processes in the environment of Mogilev, in the context of the strategy of sustainable development. The strategy for the implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs) provides for a balanced solution to socio-economic challenges, problems of maintaining a favorable state of the environment and natural resource potential.

Keywords: urbanized territories; geomorphological processes; geological environment.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-408-411

Основной задачей современной географии является поиск путей решения глобальных проблем человечества и геоэкологических проблем географической оболочки в целях реализации стратегии устойчивого развития.

Стратегия реализации целей устойчивого развития (ЦУР) предусматривает сбалансированное решение социально-экономических задач, проблем сохранения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала. В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года была включена и отдельная цель по городам и городскому развитию – цель 11 в области устойчивого развития, которая состоит в «обеспечении открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов».

Современные урбанизированные территории оказывают негативное воздействие на все компоненты природной среды. Даже такой относительно постоянный элемент, как геолого-геоморфологический субстрат, подвергается существенным изменениям в результате антропогенной нагрузки.

Показательным полигоном для изучения геоморфологических процессов, и, как следствие, антропогенных отложений и форм рельефа в условиях урбосистемы, представляется территория города Могилева.

Особенности климатических, физико-геологических условий, рельефа, распространение определенных комплексов горных пород и расположение тектонических структур контролируют распространение различных геологических процессов.

Могилевская область находится на западе древней Восточно-Европейской платформы, в той части, которая называется Русской плитой. Территория г. Могилева и окрестностей находится в пределах Могилёвской мульды Оршанской впадины. В строении платформенного чехла участвуют отложения дальсландского, нижнебайкальского, герцинского и киммерийско-альпийского структурных комплексов. Геологическое строение территории характеризуется наличием двух различных комплексов пород, которыми сложен кристаллический фундамент и осадочный чехол. Глубина залегания фундамента достигает 1,8 км. Возраст пород кристаллического фундамента колеблется от 1000 до 1200 млн. лет. Кристаллический фундамент формировался в архее и раннем протерозое. Со 2-й половины протерозоя и до конца мезозоя происходило чередование морских и континентальных условий. Отложения тиллитов, обнаруженные в геологической скважине, свидетельствуют о том, что в позднем протерозое здесь было материковое оледенение. В палеозое и мезозое морские условия существовали на протяжении среднего девона, поздней юры, позднего мела.

Кристаллический фундамент в основном сложен метаморфическими породами: гнейсами, различными типами сланцев, кварцитами и амфиболитами. Существенную роль играют магматические породы – различные типы гранитов, диориты и диабазы.

Платформенный чехол сложен породами морского и континентального происхождения. Вместе с фундаментом он подвергался вертикальным перемещениям, его пересекают разломы. Разрез осадочного чехла начинается породами верхнего протерозоя, который включает верхнерифейский и вендский комплексы. Верхнерифейский комплекс в основном сложен терригенными породами: различными песчаниками, алевролитами, глинами. Очень своеобразны отложения вендского комплекса. В нижней части – это мощная толща грубозернистых песчаников, глин и алевролитов, которые содержат большое количество валунов, гравия и гальки. В верхней части разреза главную роль играют эффузивные и туфогенно-осадочные породы: базальты, диабазы, порфириты, туфы, которые перекрываются породами палеозойской группы – среднедевонскими отложениями, мощность которых колеблется от 250 до 300 м. Разрез среднего девона в основном представлен песчано-глинистыми отложениями с прослоями мергелей, доломитов, ангидритов и алевролитов. В песчаных толщах девона содержаться значительные запасы вод высоких питьевых качеств. На глубинах 20-60 м находятся породы мезозойской группы (20-60 м). Юрская система представлена известняковыми, глинистыми и алевролитовыми отложениями. В этих породах часто встречаются останки рыб, а также богатая фауна аммонитов и фораминифер. Отложения нижнего отдела мелового периода представлены глинами, песками и песчаниками на железистом цементе. Разрез верхнего мела начинается глауконитово-кварцовыми песками, постепенно сменяющимися песчанистым мелом и мергельно-меловой толщей. Кайнозойская группа представлена отложениями антропогена – моренными, флювиогляциальными, аллювиальными, лессовидными, болотными, элювиально-делювиальными и хемогенными.

Мощность пород антропогена колеблется в пределах 50-80 м. Они сложены образованиями сожского, днепровского и березинского оледенений. Мощность березинских отложений не выдержана и колеблется от 5 до 28 м. Окраска морены обычно серая, она сложена валунными суглинками, глины и супеси занимают подчинённое положение; время от времени вскрываютсякрупные линзы песков. Отложения Днепровского горизонта распространены достаточно широко и представлены ледниковыми и водно-ледниковыми породами, но наиболее широко распространена морена, мощность которой колеблется в пределах 3-15 м. В пределах г. Могилева и его окрестностей широко распространён сожский горизонт, мореные отложения которого представлены валунными глинами, суглинками, мергелями, супесями и песками. Голоценовый горизонт образован в послеледниковое время. Это отложения пойм рек, надпойменных

террас, болот, ледников, а также элювиальноделювиальные и почвенные образования. Максимальная мощность голоценовых отложений – 20 м.

На протяжении муравинского (микулинского) межледниковья, предшествовавшего последнему, поозерскому оледенению, а также после отступления этого ледника и в голоцене происходило выполаживание рельефа с одновременным углублением речных долин и созданием овражной сети. Рельеф и гидрографическая сеть приобретали современный вид.

К основным природным геоморфологическим процессам, изменяющим геологическую среду г. Могилева и окрестностей, можно отнести:

1. Оползни;

2. Эрозионные образования в результате геологической работы временных водотоков – овраги, балки, промоины;

3. Гидрогеологические условия, связанные с залеганием водоносного горизонта на глубине 1-2 м (подтопление) и залеганием водоносного горизонта на глубине до 1м (подтопление, заболачивание), особенно в пойме р. Днепр.

4. Водная эрозия , которая приводит к абразии руслового берега р. Днепр в период ледохода, схода паводковых вод, в результате ударной волны при судоходстве.

5. Геологическая деятельность постоянных водотоков проявляется в процессе размывающей и аккумулятивной деятельности.

6. Ветровая эрозия обусловлена воздействием ветрового потока на поверхность, не покрытую растительностью (обнаженные склоны в пределах речных долин и т. д).

7. Суффозионные процессы, сопровождающийся образованием полостей, что приводит к проявлению просадочных явлений в долине и пойме р. Днепр.

На современный этап геологической истории Беларуси существенное влияние оказывает хозяйственная деятельность человека. С развитием цивилизации эта деятельность становится все более и более значимым геологическим фактором. Разнообразные современные геологические процессы провоцируются добычей полезных ископаемых, жилищным, дорожным, мелиоративным и гидротехническим строительством, вырубкой лесов, распашкой земель, складированием и захоронением промышленных отходов, другими формами влияния человека на природную среду.

Хозяйственная деятельность относится к числу быстроизменяющихся факторов развития экзогенных геологических процессов. Динамичными становятся условия протекания процессов (крутизна склона, увлажненность, растительность и прочее).

На территории Могилева имеется большое количество примеров активизации негативных геологических процессов в результате антропогенной трансформации. Неконтролируемая хозяйственная деятельность человека в совокупности с природными процессами усугубляет риск возникновения опасных геологических процессов в городской среде. Деятельность человека оказывает жесткий возрастающий прессинг на природную среду. Это порождает новые экологические, в том числе геоэкологические проблемы, в связи с чем назрела острая необходимость оценки риска опасных экзогенных геологических процессов, как в региональном, так и в локальном масштабах. Существование геологических рисков на урбанизированных территориях связано с развитием природных и техноприродных опасных процессов, резко активизирующихся с ростом городов.

Для городских территорий с преобразованным рельефом и развитием антропогенных отложений требуется разработка комплекса мер, направленных на рациональное природопользование.

Многие участки в границах г. Могилева считаются геоэкологически проблемными. Естественные и техногенные факторы находятся под взаимным влиянием, что негативно сказывается на инженерно-геологических условиях территории и, как следствие этого, отражается на состоянии инженерных сооружений. Основные мероприятия по стабилизации опасных природных процессов в городской среде сводятся к следующему:

1. Следует контролировать работы по созданию отрицательных форм рельефа. Например, при консервации карьерных разработок по добыче строительного сырья (песка), требуется про-

ведение рекультивации. Образование котлованов при строительных работах и подсыпка склонов нарушают устойчивость, что ведет к активизации оползневых и эрозионных процессов.

2. Мониторинг развития и предотвращения склоновых процессов. С помощью террасирования возможно предотвратить сползание грунта, так как снижается крутизна уклона, ему придается более устойчивая форма. Чтобы замедлить или прекратить рост оврагов, следует перегораживать их долины, начиная от верховий, поперечными препятствиями, которые замедляли бы сток воды. Еще лучше ликвидировать в зародыше рытвины и промоины. Сохранение имеющейся растительности, высадка дополнительных деревьев и кустарников, одернение склонов помогут минимизировать риски развития эрозионных процессов. Например, фиксация склона укрепляющей конструкцией – габионом, или укрепление геосеткой для армирования склонов в целях предупреждения развития склоновых процессов.

Местные жители частной застройки по правому берегу р. Дубровенка самостоятельно ведут активную борьбу со склоновыми процессами – ограждение склона бетонной стеной, либо камнем, либо плетнем из веток, либо иным путем.

3. Для предотвращения водной эрозии в долине р. Днепр и малых рек (Дубровенка, Дебря, Струшня) и разрушения береговой линии предусматривается укрепление железобетонными плитами, каменной наброской.

В целях защиты от водной эрозии почвенного покрова городской территории выполняются мероприятия по организованному отводу и регулированию поверхностного стока, что обеспечивается развитием ливневой канализации и специальных сооружений (прокладка канав, водоотводные желобов или лотков, труб).

4. Неблагоприятные для строительства инженерно-геологические районы можно использовать в рекреационно-оздоровительных целях, формируя озелененные территории общего пользования. Например, строительство городского парка культуры и отдыха в Подниколье в пойме Днепра.

При выборе площадки для строительства на территории с неблагоприятными гидрогеологическими характеристиками строительство возможно только при проведении соответствующих инженерно-геологических мероприятий для предотвращения возможных деформаций зданий и сооружений (забивка свай, укладка железобетонных подушек и др.).

5. Рекультивация отработанных песчаных карьеров в долине р. Днепр в микрорайоне Фатина и около дер. Половинный Лог в места отдыха.

6. Сохранение в естественном состоянии лесных массивов и формирование на пойменных территориях озелененных территорий общего пользования с низкими рекреационными нагрузками и минимальным уровнем благоустройства позволит максимально сохранить биологическое и ландшафтное разнообразие природных комплексов.

Таким образом, своевременное исследование современных природных и природно-антропогенных геоморфологических процессов в г. Могилеве и окрестностях позволит минимизировать риски развития опасных геологических процессов, обеспечит устойчивое развитие городской системы и комфортное проживание населения.

Библиографические ссылки

1. Общая география [Электронный ресурс]: Геологическая деятельность поверхностных текучих вод. Режим доступа: https://bookonlime.ru/lecture/glava-6-geologicheskaya-deyatelnost-poverhnostnyh-tekuchih-vod. Дата доступа: 26.04.2024.

2. Общая география [Электронный ресурс]: Геологическая деятельность человека. Режим доступа: https://studfile.net/preview/9454928/page:2/. Дата доступа: 25.04.2024.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 1
КАФЕДР ЮНЕСКО «АКТУАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI-ГО ВЕКА»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ: МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

О. А. Любчик[1)], **Е. О. Каменская**[1)]

[1)] *Белорусский национальный технический университет,пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, olga.liubchik@yandex.ru*

Статья посвящена анализу концепции энергетического перехода, рассматриваются различные трактовки энергоперехода с акцентом на подходы к его численному определению, движущие силы и этапы. Выделяется текущий процесс – четвертый мировой энергопереход, характеризующийся ростом доли современных возобновляемых источников энергии в производстве энергии. Подчеркивается важность влияния не только технологических, но и социальных, экономических и экологических факторов на темпы и направление энергоперехода. С учетом существующих прогнозов, предполагается, что четвертый энергопереход неизбежно состоится, однако скорость его реализации будет зависеть от политики стран и регионов в части энергетической инфраструктуры и технологий.

Ключевые слова: энергетический переход; четвертый энергопереход; возобновляемые источники энергии; устойчивое развитие.

ENERGY TRANSITIONS: GLOBAL TRENDS IN ENERGY SECTOR DEVELOPMENT

V. A. Liubchyk[1)], **K. A. Kamenskaya**[1)]

[1)] *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus, olga.liubchik@yandex.ru*

The article is devoted to analysing the concept of energy transition; different interpretations of energy transition are considered, with emphasis on approaches to its numerical definition, driving forces and stages. The current process – the fourth global energy transition, characterised by the growing share of modern renewable energy sources in energy production – is highlighted. The importance of the influence of not only technological, but also social, economic and environmental factors on the pace and direction of the energy transition is emphasised. Taking into account the existing forecasts, it is assumed that the fourth energy transition will inevitably take place, but the speed of its realisation will depend on the policy of countries and regions in terms of energy infrastructure and technologies.

Keywords: energy transition; fourth energy transition; renewable energy sources; sustainable development.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-412-416

По мере развития человеческого общества изменялись используемые для обеспечения нужд человека источники энергии, их экономическая и физическая доступность. Для описания процессов структурных изменений в энергетической системе, связанных со значимыми изменениями в балансе источников энергии используют понятие «энергетический переход» или «энергопереход».

Общепринятое определение энергоперехода отсутствует, поэтому различные авторы трактуют энергетический переход, определяют его численные границы и объясняют вызвавшие его причин по-разному.

Концепция энергетического перехода, как описывает ее М. Мелози, основана на представлении о том, что один энергоисточник или их группа доминирует на рынке определенное время, снижает свою долю и после вытесняется другим источником энергии или их группой [1].

Историческую важность энергопереходов подчеркивает В. Смил: они открывают более мощные первичные двигатели и более эффективные способы преобразования энергии [2]. Он определяет энергопереход как период с момента появления нового первичного источника энергии до увеличения его доли до не менее 15 % на рынке [3]. Движущей силой энергоперехода, по мнению В. Смила, является недостаточная эффективность преобразования энергии в текущий момент по сравнению с уровнем технического развития и потребностями человека, а также низкая плотность энергии [2]. Также он уточняет, что итоговая доля нового энергоисточника для фиксации осуществления энергоперехода может быть назначена и иной в различных ситуациях, но 10 % – минимальное значение, так как достичь менее 10 % доли определенного энергоресурса в балансе можно при помощи искусственной корректировки спроса. Наиболее универсальное значение, по мнению В. Смила, для определения состоявшегося энергоперехода – 20–25 % [3].

Энергопереход А. Грублер, Ч. Вильсон и П. Немет определяют как состояния энергетической системы, а не изменение отдельной энергетической технологии или источника топлива. В качестве примера они приводят переход от доиндустриальной системы, опиравшейся на традиционную биомассу и другие возобновляемые источники энергии (энергия ветра, воды и мускулов), к индустриальной, характеризующейся повсеместной механизацией (энергия пара) и использованием угля. По мнению вышеназванных авторов, необходимость очередного энергоперехода – четвертого – очевидна, так как существующие энергосистемы неустойчивы по всем группам критериев устойчивого развития: социальным, экономическим и экологическим [4]. Энергопереход происходит по времени по форме s-образной кривой так, что время, необходимое для перехода от 1 % до 50 % и от 50 % до 99 %, идентично времени, необходимому для роста доли рынка с 10 % до 90 %. Глобальный энергопереход можно считать состоявшимся, по мнению А. Грублера, Ч. Вильсона и П. Немета, только когда доля источника энергии или технологии на мировом рынке будет составлять не менее 50 % [4]. Данные ученые считают, что формирование Целей устойчивого развития и заключение Парижского соглашения об изменении климата могут сыграть важную роль в ускорении осуществления четвертого энергоперехода и перехода ко всеобъемлющему устойчивому развитию, однако требуемые крупномасштабные изменения, помимо социального и экологического, не имеют других немедленных эффектов и, в связи с этим, могут затянуться на десятилетия [4].

Численно энергопереход также описывает Б.К. Совакул. Он обозначает начало энергоперехода с момента, как новый энергоисточник или технология занимает 1 % рынка и далее его доля растет [5].

Р.Ф. Хирш, К.Р. Джонс [6] и Ф. Лэрд [7] критически отмечают, что многие аналитики рассматривают энергетический переход узко, исключительно как смену топлива, забывая о сопутствующих или же предшествующих сменах транспортной инфраструктуры, технологий в энергетике, а также об экологических и социальных последствиях. Так, например, широкое использование жидкое топливо получило только после появления развитых сетей трубопроводов [6], а при активном развитии возобновляемой энергетики назревает вопрос о развитии распределенной генерации взамен привычных систем с крупными тепловыми электрическими станциями [7].

Движущей силой энергопереходов В. Смил называет недостаточную эффективность преобразования энергии и низкую плотность энергии [2; 3]. Также он обращает внимание на не-

обходимость учета экологических последствий внедрения новых энергетических технологий и возможного повышения себестоимости производства энергии.

С точки зрения Р.Ф. Хирша и К.Р. Джонса к энергопереходу приводят развитие технологий и транспортной инфраструктуры [6]. Они так же, как и предыдущий автор, считают важным принимать во внимание экологические и социальные последствия энергоперехода.

Неустойчивостью развития по социальным, экономическим и экологическим критериям объясняют начало энергоперехода А. Грублер, Ч. Вильсон и П. Немет [4]. Они обращают внимание на то, что эффект от энергоперехода может быть отложенным и не очевидным, что может затянуть его реализацию.

Существуют и альтернативные мнения о движущей силе энергопереходов. Так, например, Ю.А. Плакиткин [8] отмечает s-образную зависимость изменения средней плотности энергии (калорийного эквивалента) используемых энергоресурсов во времени и видит драйвером всех энергетических переходов исключительно технологическое развитие цивилизации, а не принятые человеком на глобальном уровне решения. Внешним влияниям в виде политических или экономических решений, изменений климата выделяется второстепенная роль, так как они могут только ускорить или замедлить переход, но не вызвать его. Так курс на декарбонизацию энергетики делает s-образную кривую калорийного эквивалента более крутой при выходе ее из зоны «горизонтального развития» в зону «вертикальной эскалации», который и считается началом четвертого энергоперехода (Рис. 1).

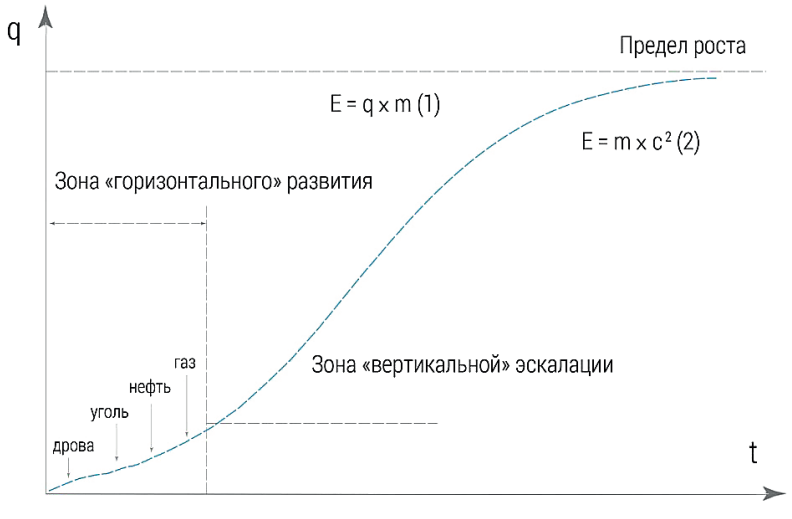


Рис. 1. Кривая калорийного эквивалента
Источник: [8]

Всего выделяют четыре энергоперехода (Рис. 2). Первый энергопереход – переход от использования биомассы к использованию угля, от ручного труда – к паровым машинам. Второй энергопереход – это переход от угля к нефти, появление двигателей внутреннего сгорания и активное развитие автомобильного транспорта. В качестве третьего энергоперехода выделяют период нарастания в мировом энергобалансе доли природного газа – более экологически чистого и удобного в использовании топлива – и эффективного использования трубопроводного транспорта для его поставки потребителю. В настоящее время увеличение доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе как отдельных стран, так и мира, свидетельствует о начале очередного энергоперехода [9]. Характерными особенностями четвертого энергоперехода является снижение использование углеводородного топлива с переходом к возобновляемым источникам энергии, внедрение энергоэффективных и цифровых технологий, повышение экологической безопасности топливно-энергетического комплекса [10].

Согласно расчетам ретроспективной и прогнозной динамики мирового инновационно-технического развития [8], 2022–2023 годы определяются началом нового глобального технологического перехода, который всегда имеет своей основой глобальный энергетический переход, что обуславливается опережающим развитием энергоисточников по сравнению с применением новых технологий. Повышение среднего калорийного эквивалента используемых энергоресурсов является характерным признаком каждого из энергопереходов. Так как четвертый энергопереход характеризуется интенсификацией использования, в основном, современных возобновляемых источников энергии, имеет смысл отметить, что рассчитанный калорийный эквивалент для солнечной и ветровой энергии превосходит аналогичный показатель для природного газа в 2–3 раза [8], что полностью соответствует характерному признаку энергоперехода и s-образной форме графика на Рис. 2.

Рис. 2. Динамика доли топливно-энергетических ресурсов в мировом энергобалансе
Источник: [9]

Некоторые авторы, например [8], утверждают, что развитие энергетики отдельного региона или страны, которое в значительной степени отклоняется от глобальной s-образной кривой, с сохранением в будущем энергетической базы в виде горючих ископаемых видов топлива, приведет к замедлению технологического и экономического развития страны. Впоследствии это повлечет существенные инвестиции в энергетические технологии и усилия для перевода экономики на глобальный уровень развития, что на Рис. 1 будет соответствовать вертикальному или близкому к нему движению вверх из области под кривой. И чем длительнее будет сохранятся старая модель энергосистемы, характерная для предыдущего этапа мирового развития, тем больший скачок необходимо будет совершить.

Несмотря на небольшие отличия в формулировках определения энергоперехода и разном видении его движущих сил, ученые сходятся в том, что четвертый энергопереход уже начался, что он имел для этого все предпосылки и что с той или иной скоростью, в зависимости от внешних воздействий, мир пройдет все характерные для энергопереходов изменения в энергосистеме, в том числе смену доминирующих топливно-энергетических ресурсов.

Цели в области устойчивого развития и задачи, связанные с минимизацией глобальных эколого-климатические изменений и их последствий, новые подходы к учету и регулированию выбросов парниковых газов на национальном уровне, повышение уровня открытости нефинансовой отчетности компаний в области устойчивого развития [11; 12] форсируют четвертый энергопереход, но не являются его первостепенной причиной.

Библиографические ссылки

1. *Melosi M.* Energy transitions in historical perspective // Energy and Culture. Routledge, 2017. P. 45–60.

2. *Smil V.* World history and energy // Encyclopedia of energy. 2004. T. 6. P. 549–561.

3. *Smil V.* Energy myths and realities. Washington, DC : AEI Press, 2010.

4. *Grubler A., Wilson C., Nemet G.* Apples, oranges, and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions // Energy research & social science. 2016. T. 22.

5. *Sovacool B. K.* How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions // Energy research & social science. 2016. T. 13. P. 202–215.

6. *Hirsh R. F., Jones C. F.* History's contributions to energy research and policy // Energy research & social science. 2014. T. 1. P. 106–111.

7. *Laird F. N.* Against transitions? Uncovering conflicts in changing energy systems // Science as Culture. 2013. T. 22. №. 2. P. 149–156.

8. *Плакиткин Ю. А.* Глобальный энергетический переход и современные мировые трансформации в прогнозах развития энергетики // Энергетическая политика. 2023. № 8 (187). С. 8–25.

9. *Козеняшева М. М., Мингалеева Р. Д.* Понятие «энергопереход» на современном этапе трансформации мировой экономики // Экономические науки. 2022. №. 215. С. 249–257.

10. *Голов Р. С.* Теоретические основы реализации концепции «Энергопереход 4.0» в сфере российской промышленности // Научные труды Вольного экономического общества России. 2022. Т. 233. №. 1. С. 199–210.

11. *Любчик О. А., Пинаев В. Е., Ухова В. Н.* Особенности углеродного регулирования в Республике Беларусь и Российской Федерации: сравнительный анализ и тенденции // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2024. Т. 67. №. 5. С. 452–470.

12. Раскрытие информации об устойчивом развитии в нефинансовой отчетности: опыт и стандарты в Российской Федерации, Республике Беларусь и Китае / В. Н. Ухова [и др.] // Вестник Евразийской науки. 2025. Т 17. № 1.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 2

«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ И МЕЖКУЛЬТУРНОЙ КОММУНИКАЦИИ»

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ МОЛОДЕЖИ: РЕЗУЛЬТАТЫ АНКЕТИРОВАНИЯ

Ю. И. Буткевич

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, englishbutkevich@mail.ru

В статье представлены результаты анкетирования, направленного на изучение уровня экологического сознания молодежи. Исследование охватило различные возрастные группы (15–25 лет) и регионы проживания (городские и сельские территории). Анализ данных позволил выявить ключевые факторы, влияющие на формирование экологического сознания, а также определить уровень обеспокоенности молодежи экологическими проблемами. Результаты исследования могут быть использованы для разработки образовательных программ и экологических инициатив, направленных на повышение экологической грамотности и активности молодежи.

Ключевые слова: анкетирование; экологическое сознание; экологические проблемы; состояние окружающей среды

FORMATION OF ENVIRONMENTAL AWARENESS AMONG YOUNG PEOPLE: SURVEY RESULTS

Y. I. Butkevich

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, englishbutkevich@mail.ru

The article presents the results of a survey aimed at studying the level of environmental awareness among young people. The research covered various age groups (15–25 years) and regions of residence (urban and rural areas). The analysis of the data revealed key factors influencing the formation of environmental consciousness, as well as determined the level of concern among young people regarding environmental issues. The findings of the study can be used to develop educational programs and environmental initiatives aimed at enhancing environmental literacy and activism among youth.

Keywords: survey; environmental awareness; environmental issues; state of the environment

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-417-420

Экологическое сознание – это совокупность знаний, убеждений и ценностей, которые определяют отношение человека к окружающей среде и его готовность участвовать в ее сохранении. В условиях глобальных экологических вызовов, таких как изменение климата, загрязнение окружающей среды и сокращение биоразнообразия, формирование экологического сознания у молодежи становится важной задачей для общества. Экологическое сознание как научная категория

изучается в рамках экологической психологии, социологии и педагогики. Согласно исследованиям, экологическое сознание включает в себя три основных компонента [3]:

1. Когнитивный компонент – знания об экологических проблемах и их последствиях.

2. Эмоциональный компонент – чувства и переживания, связанные с состоянием окружающей среды.

3. Поведенческий компонент – готовность к действиям, направленным на сохранение природы.

Формирование экологического сознания происходит под влиянием различных факторов, таких как: семья и школа, где родители и учителя играют ключевую роль в формировании экологических ценностей; СМИ и информационные технологии, которые могут как способствовать, так и препятствовать развитию экологического сознания; личный опыт, такой как участие в экологических мероприятиях и взаимодействие с природой укрепляют экологические убеждения [1].

Целью данного исследования является анализ уровня экологического сознания молодежи, выявление факторов, влияющих на его формирование, и оценка уровня обеспокоенности экологическими проблемами. В статье представлены результаты анкетирования, проведенного среди молодежи в возрасте от 15 до 25 лет (студенты 1-4 курса МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ).

Методология исследования

Исследование проводилось методом анкетирования [2]. В опросе приняли участие 100 респондентов в возрасте от 15 до 25 лет. Анкета включала вопросы, направленные на изучение демографических характеристик, опыта взаимодействия с природой, оценки состояния окружающей среды и уровня обеспокоенности экологическими проблемами. Данные были обработаны с использованием методов количественного и качественного анализа.

Результаты исследования

1. Демографические характеристики

– Пол: 70 % респондентов – женщины, 30 % – мужчины.

– Возраст: 60 % респондентов – в возрасте 15-18 лет, 30 % – 19-22 лет, 10 % – 23-25 лет.

– Место проживания: 80 % респондентов проживают в городской местности, 20 % – в сельской.

Углубленный анализ данных показал:

1. Когнитивный компонент экологического сознания

– Большинство респондентов (около 70 %) демонстрируют базовые знания об экологических проблемах, таких как загрязнение воды, управление отходами и защита исчезающих видов.

– Однако только 30 % респондентов могут назвать конкретные меры по улучшению экологической ситуации, что указывает на недостаток углубленных знаний.

2. Эмоциональный компонент

– Около 60 % респондентов выражают умеренную обеспокоенность экологическими проблемами.

– 20 % респондентов демонстрируют высокий уровень эмоциональной вовлеченности, что проявляется в активном участии в экологических мероприятиях.

3. Поведенческий компонент

– Только 40 % респондентов регулярно участвуют в экологических мероприятиях, таких как субботники или посадка деревьев.

– 60 % респондентов ограничиваются пассивными действиями, такими как сортировка мусора или экономия воды.

4. Влияние возраста

– Респонденты в возрасте 15–18 лет чаще выражают умеренную обеспокоенность экологическими проблемами.

– Респонденты 19–22 лет демонстрируют более высокий уровень экологической активности, что может быть связано с их участием в студенческих экологических инициативах.

5. Влияние места проживания

– Городские жители чаще обеспокоены проблемами загрязнения воздуха и воды, что связано с высокой концентрацией промышленных предприятий и транспорта в городах.

– Сельские жители чаще отмечают улучшение состояния окружающей среды, что может быть связано с меньшим уровнем промышленного загрязнения.

2. Опыт взаимодействия с природой

– Участие в активностях на природе: 60 % респондентов участвуют в таких мероприятиях «иногда» или «часто», 20 % – «очень часто».

– Влияние родителей и учителей: Родители и учителя поощряют заботу об окружающей среде «иногда» или «часто» (оценка 3-4).

– Влияние СМИ: Респонденты реже смотрят телепрограммы или читают книги с экологическим посылом (оценка 2-3).

3. Оценка состояния окружающей среды

– Качество воды: 50 % респондентов считают, что качество воды осталось на прежнем уровне, 30 % отмечают улучшение.

– Загрязнение от предприятий: 40 % считают, что уровень загрязнения остался на прежнем уровне, 30 % отмечают ухудшение.

– Использование химикатов: 50 % респондентов считают, что ситуация с использованием удобрений и пестицидов осталась на прежнем уровне.

– Защита водно-болотных угодий и исчезающих видов: 50 % считают, что ситуация осталась на прежнем уровне, 30 % отмечают улучшение.

4. Обеспокоенность экологическими проблемами

– Загрязнение воды: 60 % респондентов обеспокоены загрязнением воды (оценка 3-4).

– Состояние водно-болотных угодий: 50 % выражают умеренную обеспокоенность (оценка 3).

– Нехватка воды: 40 % обеспокоены нехваткой воды (оценка 3-4).

– Управление отходами: 60 % обеспокоены проблемой управления твердыми отходами (оценка 3-4).

– Защита исчезающих видов: 50 % выражают умеренную обеспокоенность (оценка 3).

Обсуждение результатов

Результаты исследования показывают, что уровень экологического сознания молодежи находится на умеренном уровне. Большинство респондентов замечают экологические проблемы, но не всегда активно участвуют в их решении. Влияние родителей и учителей на формирование экологического сознания значимо, но не всегда достаточно. Роль СМИ в этом процессе остается слабой.

Городские и сельские жители демонстрируют схожие взгляды на экологические проблемы, но их оценки состояния окружающей среды различаются.

Городские жители чаще обеспокоены загрязнением воды и управлением отходами, в то время как сельские жители чаще отмечают улучшение состояния водно-болотных угодий и защиту исчезающих видов.

Выводы

– Уровень экологического сознания молодежи находится на умеренном уровне. Большинство респондентов замечают экологические проблемы, но не всегда активно участвуют в их решении.

– Влияние семьи и школы на формирование экологического сознания значимо, но требует усиления.

– Роль СМИ в формировании экологического сознания остается слабой.

– Городские и сельские жители демонстрируют схожие взгляды на экологические проблемы, но их оценки состояния окружающей среды различаются.

Необходимо усилить экологическое образование в школах и вузах, чтобы повысить уровень экологического сознания молодежи. Следует активнее использовать телевидение, социальные сети и другие каналы для популяризации экологических идей. Важно поощрять участие молодежи в экологических мероприятиях, таких как субботники, посадка деревьев и т.д. При разработке экологических программ необходимо учитывать различия между городскими и сельскими районами.

Библиографические ссылки

1. *Шмелева И. А.* Системное психологическое описание экологического сознания в контексте глобальных экологических проблем. // Психологический журнал. 2011.№32(5). С.5-15.

2. Environmental awareness of european youth: a comparative study / Danijela Voza [et al.] // Environmental Awareness as a Universal European Value /[Editor-in-Chief Ivan Mihajlović]. - Bor : University of Belgrade, Technical Faculty, Engineering Management Department. 2016. С.4-17.

3. *Панов В. И.* Экологическое сознание: теория, методология, диагностика: монография. // Психологическая диагностика. 2012.№1.126 с.

СПЕЦИФИКА ОБУЧЕНИЯ ТУРКМЕН АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ

Т. И. Головко

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, tanusha356@mail.ru

В статье рассматриваются особенности обучения туркмен английскому языку, связанные с лингвистическими, культурными и методическими аспектами, которые влияют на процесс обучения, включая различия в грамматических структурах, фонетике и лексике между туркменским и английским языками. Особое внимание уделяется трудностям, с которыми сталкиваются туркменские студенты при изучении английского, таким как освоение артиклей, временных форм и произношении, и предлагаются рекомендации для повышения эффективности учебного процесса.

Ключевые слова: туркмены; английский язык; обучение; языковые аспекты

SPECIFICITY OF TEACHING ENGLISH TO TURKMEN STUDENTS

Y. I. Golovko

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, tanush356@mail.ru

The article deals with the peculiarities of teaching English to Turkmens, related to linguistic, cultural and methodological aspects that affect the learning process, including differences in grammatical structures, phonetics and vocabulary between Turkmen and English languages. Particular attention is paid to the difficulties that Turkmen students face in learning English language such as mastering articles, tenses and pronunciation, and recommendations are offered to improve the effectiveness of the learning process.

Keywords: Turkmen; English language; education; language aspects

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-421-424

Английский язык является одним из наиболее востребованных языков в мире, и его изучение становится важным элементом образования в Туркменистане. Однако процесс обучения туркмен английскому языку имеет свои особенности, обусловленные как различиями в языковых структурах, так и культурными факторами. Туркменский язык относится к тюркской языковой группе, что делает его структурно отличным от английского языка. Лингвистические особенности играют ключевую роль в процессе обучения туркмен английскому языку. Эти особенности обусловлены значительными различиями между туркменским и английским языками, которые относятся к разным языковым семьям (тюркская и германская соответственно). Рассмотрим основные аспекты более подробно.

1. Языковые аспекты

Фонетическая система туркменского языка существенно отличается от английской, что создает трудности в произношении и восприятии на слух. В английском языке присутствуют звуки, которые отсутствуют в туркменском:

– Межзубные звуки [θ] (как в слове *think*) и [ð] (как в слове *this*). Туркменские студенты часто заменяют их на [t] или [d].

– Звук [w] (как в слове *water*) может заменяться на [v], так как в туркменском языке звук [w] отсутствует.

– Звук [ŋ] (как в слове *sing*) может вызывать трудности, так как в туркменском языке он встречается редко.

В туркменском языке ударение обычно фиксированное и падает на последний слог слова, тогда как в английском языке ударение подвижное и может падать на любой слог. Это вызывает трудности в правильном произношении английских слов. Кроме того, интонационные модели английского языка (например, восходящая интонация в вопросах) могут быть непривычными для туркменских студентов, что влияет на их способность выражать эмоции и намерения в речи.

Грамматические системы туркменского и английского языков имеют принципиальные различия, что создает значительные трудности в изучении. В туркменском языке отсутствуют артикли, что вызывает сложности в понимании и использовании временных форм и артиклей. В туркменском языке нет артиклей (*a*, *an*, *the*), которые играют важную роль в английском языке для определения определенности или неопределенности существительного. Это приводит к частым ошибкам в понимании и использовании артиклей, например, их пропуску или неправильному выбору. Система времен глаголов значительно отличается от английской. Туркменский язык имеет относительно простую систему времен, в то время как английский язык обладает сложной системой временных форм (Present Simple, Past Continuous, Present Perfect и т.д.). Туркменские студенты часто путают времена, особенно Perfect и Continuous формы, так как в их родном языке таких конструкций нет. В туркменском языке порядок слов более свободный, так как грамматические отношения выражаются с помощью аффиксов. В английском языке порядок слов строго фиксированный (Subject-Verb-Object), и его нарушение может привести к изменению смысла предложения. Это требует от студентов особого внимания к структуре предложения. Падежные отношения выражаются с помощью аффиксов, тогда как в английском языке для этого используются предлоги. Например, туркменские студенты могут путать предлоги *in*, *on*, *at* при указании места или времени.

Лексика туркменского и английского языков имеет мало общего, что усложняет процесс запоминания и использования новых слов. Заимствования в туркменском языке в основном происходят из арабского, персидского и русского языков, что делает лексический запас английского языка менее интуитивно понятным для туркменских студентов. В английском языке многие слова имеют несколько значений, что может вызывать путаницу. Например, слово *bank* может означать как «банк», так и «берег реки». В туркменском языке такие случаи многозначности встречаются реже. Фразовые глаголы (например, *take off*, *put on*, *look after*) являются одной из самых сложных тем для туркменских студентов, так как в их родном языке такие конструкции отсутствуют.

Морфологическая структура туркменского и английского языков также имеет существенные различия. Туркменский язык относится к агглютинативным языкам, где грамматические значения выражаются с помощью добавления аффиксов к корню слова. Например, слово *öýümde* («в моем доме») состоит из корня *öý* («дом») и аффиксов *-üm* («мой») и *-de* («в»). В английском языке грамматические значения чаще выражаются с помощью отдельных слов (например, предлогов или вспомогательных глаголов), что требует от студентов перестройки мышления. В туркменском языке нет категории рода существительных, тогда как в английском языке род может выражаться через местоимения (*he*, *she*, *it*). Это может вызывать трудности в использовании местоимений и согласовании слов.

Синтаксические конструкции в туркменском и английском языках также имеют свои особенности. В туркменском языке сложные предложения часто строятся с помощью союзных слов и аффиксов, тогда как в английском языке используются союзы (*and*, *but*, *because*) и относительные местоимения (*who*, *which*, *that*). Это требует от студентов освоения новых синтаксических структур. В туркменском языке вопросы и отрицания часто образуются с помощью аффиксов, тогда как в английском языке для этого используются вспомогательные глаголы (*do*, *does*, *did*) и изменение порядка слов.

2. Культурные аспекты

Культурные аспекты играют важную роль в процессе обучения английскому языку, так как язык тесно связан с культурой и традициями его носителей. Туркменская культура имеет свои традиции и ценности, которые могут влиять на восприятие и усвоение английского языка. Для туркменских студентов понимание культурных особенностей англоязычных стран может быть столь же сложным, как и освоение языковых навыков. Рассмотрим ключевые культурные аспекты, которые влияют на процесс обучения.

Туркменская культура относится к высококонтекстуальным культурам, где большое значение имеют невербальные сигналы, такие как жесты, мимика и тон голоса, контекст и подтекст. В то время как англоязычные культуры (например, американская или британская) являются низкоконтекстуальными, где коммуникация более прямолинейна и ориентирована на точность выражения. Например, в английском языке часто используются прямые вопросы и утверждения, что может восприниматься туркменскими студентами как излишняя резкость или бестактность. Туркменские студенты могут ожидать, что собеседник поймет их намерения без подробных объяснений, что может привести к недопониманию в общении с носителями английского языка.

В туркменской культуре большое значение придается уважению к старшим и авторитетам. Это может проявляться в том, что студенты избегают задавать вопросы учителю или выражать свое мнение, чтобы не показаться неуважительными. В англоязычной образовательной системе, напротив, поощряется активное участие студентов в дискуссиях и выражение собственной точки зрения. В туркменской культуре учитель традиционно занимает авторитарную позицию, а студенты ожидают четких инструкций и руководства. Это может ограничивать их активность на занятиях по английскому языку, где важна самостоятельная работа, критическое мышление и коммуникативная практика. Туркменская культура является коллективистской, где ценится групповая гармония и сотрудничество. В англоязычных странах, особенно в США и Великобритании, преобладает индивидуализм, где поощряется личная инициатива и самовыражение. Это может вызывать трудности у студентов при выполнении индивидуальных заданий или участии в дебатах.

3. Методические рекомендации

Для повышения эффективности обучения туркменских студентов английскому языку рекомендуется:

– Интеграция фонетических упражнений: Уделять особое внимание постановке правильного произношения, используя аудиоматериалы и практические упражнения. Регулярное прослушивание аудиозаписей с носителями языка помогает студентам привыкнуть к звукам английского языка. Это могут быть диалоги, песни, подкасты или аудиокниги. Проводить специальные упражнения для отработки сложных звуков, таких как [θ], [ð], [w] и [ŋ] путем повторения слов и фраз с этими звуками. Использовать скороговорки для тренировки произношения. Учить студентов правильно ставить ударение в словах и использовать интонацию в предложениях. Например, можно использовать диалоги с разными интонационными моделями (вопросы, утверждения, восклицания).

– Акцент на грамматические структуры: Разрабатывать специальные упражнения для отработки использования артиклей и времен глаголов. Поэтапно изучать грамматику, начинать с простых тем (например, Present Simple) и постепенно переходить к более сложным (например, Present Perfect Continuous). Использовать таблицы, схемы и диаграммы в качестве наглядного материала. Например, таблица времен английского языка с примерами. Необходимо регулярно проводить упражнения на отработку грамматических конструкций, таких как: использование артиклей (*a*, *an*, *the*), построение вопросов и отрицательных предложений, правильное использование времен глаголов.

– Использование культурных параллелей: Включать в учебный процесс материалы, которые помогают студентам понять культурные особенности англоязычных стран. Проводить па-

раллели между культурно-значимыми праздниками, для примера праздник урожая, имеющий важное значение в культурах Великобритании и Туркменистана.

– Развитие коммуникативных навыков: Поощрять активное участие студентов в диалогах, ролевых играх и дискуссиях. Проводить ролевые игры, которые моделируют реальные ситуации общения (например, в магазине, на вокзале, в ресторане).

– Применение современных технологий: Использовать онлайн-ресурсы, мобильные приложения и интерактивные платформы для повышения мотивации и вовлеченности студентов.

Обучение туркмен английскому языку требует учета лингвистических и культурных особенностей, а также применения адаптированных методик. Успешное освоение английского языка возможно при условии комплексного подхода, включающего как традиционные, так и инновационные методы обучения. Это позволит студентам не только овладеть языковыми навыками, но и лучше понять культуру англоязычных стран. Лингвистические особенности обучения туркмен английскому языку требуют особого внимания со стороны преподавателей. Учет фонетических, грамматических, лексических, морфологических и синтаксических различий позволяет разработать эффективные методики, которые помогут студентам преодолеть трудности и успешно овладеть английским языком. Важно сочетать традиционные методы обучения с современными подходами, такими как использование аудио- и видеоматериалов, интерактивных упражнений и коммуникативных практик.

Библиографические ссылки

1. *Crystal D.* English as a Global Language: Cambridge University Press, 2003

2. *Brown H. D.* Principles of Language Learning and Teaching: Pearson Education, 2007

3. *Richards J. C., Rodger, T. S.* Approaches and Methods in Language Teaching: Cambridge University Press, 2014

4. *Карпова А. М.* Анализ фонетических систем английского и туркменского языков (прогноз относительно туркмено-английской интерференции) / А. М. Карпова, Филологические науки в России и за рубежом: материалы V Международной научной конференции (г. Санкт-Петербург, декабрь 2017 г.). СПб.: Свое издательство, 2017. С. 31-34.

ОБУЧЕНИЕ МАГИСТРАНТОВ НЕЯЗЫКОВЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ РАБОТЕ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОГО СЛОВАРЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Н. А. Грицай[1)], **Н. Н. Довгулевич**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfl@iseu.by*

Доклад посвящен особенностям обучения магистрантов неязыковых специальностей работе по составлению терминологических словарей по специальности. Рассматриваются особенности перевода научных текстов как основы для создания узкоспециализированных словарей-глоссариев, приводятся основные правила работы над словарями в соответствии с программой-минимум, даются основные лингвистические классификции терминов. Также предлагается практический алгоритм для этого вида работы.

Ключевые слова: терминология; термин; терминологический словарь; дефиниция; профессионально ориентированное общение.

TEACHING MASTER COURSE STUDENTS OF NON-LINGUISTIC SPECIALTIES IN WORKING ON COMPILING A TERMINOLOGICAL VOCABULARY IN THEIR SPECIALTY

N. Gritsai[1)], **N. Dovgulevich**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfl@iseu.by*

The report is devoted to the peculiarities of teaching master course students of non-linguistic specialties to work on compiling terminological vocabularies in their specialty. The features of translating scientific texts as a basis for creating highly specialized glossary dictionaries are considered, the basic rules for working on vocabularies in accordance with the minimum program are given, and the fundamental linguistic classifications of terms are given. A practical algorithm for this type of work is also proposed.

Keywords: terminology; term; terminological vocabulary; definition; professionally oriented communication.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-425-428

Сегодня в условиях глобализации общества и усиления интеграционных процессов в науке особенное внимание уделяется обучению иностранному языку как средству профессионально ориентированного общения. Это позволяет получить доступ к иноязычной научной информации, наладить научное общение с представителями научной сферы других стран и влиться в мировое научное сообщество.

Обучение иностранному языку в магистратуре неязыковых вузов направлено на достижение уровня, необходимого для использования языка в профессиональной деятельности и научной работе. Это включает развитие умений понимания и обработки информации на иностранном языке. Специалисты с магистерской степенью должны обладать широкими знаниями, владеть методами научного творчества и современными информационными технологиями.

Поиск информации в Интернете и выполнение различных заданий, связанным с нахождением необходимой информации – основной аспект работы в магистратуре. Для подготовки на иностранном языке магистранты должны уметь находить и обрабатывать материалы на специализированных веб-сайтах, публикующих тематические статьи по актуальным вопросам современной науки. Одним из традиционных видов учебной деятельности магистрантов является поиск и анализ специальных текстов для расширения знаний в своей профессиональной области. Основная цель этого вида работы – научить магистрантов читать и понимать специализированные тексты, а также извлекать из них важную научную информацию.

Таким образом, перевод является ценным инструментом в процессе изучения иностранного языка. Ни одна программа обучения не обходится без применения перевода. Когда магистрант сталкивается со сложным текстом для анализа, он в первую очередь старается перевести его на свой родной язык, поскольку не может полноценно осмыслить его на иностранном языке. Задача преподавателя заключается в формировании навыков и развитии умений, необходимых для достижения данной цели.

Многие специалисты отмечают, что перевод является важной и необходимой формой обучения. Он служит основой для сознательно-сопоставительного подхода к изучению иностранной лексики и грамматики и оправдывает разумное использование родного языка в процессе изучения иностранного.

Однако, для осмысления научного специального текста одного перевода недостаточно. Основные проблемы, с которыми сталкиваются магистранты при переводе научных статей по специальности можно классифицировать как лексико-семантические, грамматические, синтаксические, риторические, и культурные [1]. Решение лексико-семантических проблемы представляет собой наибольшую трудность из-за множества неологизмов и контекстуальных синонимов и антонимов. Преодоление этих трудностей возможно при обращении к словарям и глоссариям, но зачастую в силу очень узкой специфики содержания научного текста лексические единицы не включены в них.

Согласно Программе-минимум кандидатского экзамена по общеобразовательной дисциплине “Иностранный язык” к концу обучения у магистранта в лексическом запасе должно быть примерно 300 терминов профилирующей специальности [2].

Термин представляет собой лексическую единицу языка, предназначенную для специальных целей и обозначающую конкретное или абстрактное понятие в пределах определенной области знаний или деятельности [3, с. 22]. Термины имеют четкие и точные определения, являются краткими и нейтральными. Эти свойства термина реализуются в терминосистеме подъязыка специальности при переводе профессиональных текстов.

Перевод терминов не вызывает трудности в случае наличия соответствующих эквивалентов в справочниках и словарях. Однако необходимо принимать во внимание специфику переводимого текста, где в зависимости от контекста и научной области, в которой применяется термин, он может приобретать совершенно иную дефиницию.

Обилие профессиональной лексики, отсутствие аналогичного понятия в русском языке и неумение определить часть речи у слова и выявить связь этого слова с другими словами в предложении, сложные конструкции на английском языке приводят к неверному выбору значения слова. Несмотря на то, что на первой ступени обучения магистранты овладели профессиональной лексикой в достаточной мере, значительное количество слов и словосочетаний, в силу их узкой профессиональной направленности, вызывает трудности для понимания и перевода на русский язык. Поэтому создание собственного узкоспециализированного словаря-глоссария терминов имеет важное практическое значение. Во-первых, такие словари позволяют узнать значение терминов, которые используются в узкоспециализированном специфическом значении, что приводит к лучшему пониманию содержания текста, облегчает процесс чтения и извлечение смысла прочитанного. Во-вторых, глоссарий дает определение, что ис-

ключает неправильное толкование в случае, если термины имеют разные дефиниции в разных научных областях.

Прежде чем приступить к работе по созданию словаря-глоссария, магистрантам разъясняются основные правила, которые нужно соблюдать, чтобы словарь соответствовал требованиям программы-минимум (необходимое количество терминов, обязательные ссылки на источники, использование исключительно новых терминов, отражающих суть работы) и был бы полезен для дальнейшей научной работы, даются основные лингвистические классификации терминов, способы их перевода на русский язык и создания дефиниции на иностранном языке.

С помощью классификационной схемы открывается логико-понятийная система той или иной узкой сферы научной деятельности. Поэтому на практических занятиях магистрантам разъясняется лингвистическая классификация (однокомпонентные и многокомпонентные термины) и классификация по содержанию.

Так, однокомпонентные термины, или термины-слова, в соответствии с морфемной структурой классифицируются на непроизводные (однокорневые) [4, с .8, 15]. Например, triterpenoids – терпеноиды, disdiosis – дизбактериоз, striatum – полосатое тело; производные (образуются от однокорневых слов и аффиксов): advance – прогресс, advantage – преимущество, advisory – заключение и сложные (имеют не менее двух корневых морфем): thrombospondins – тромбоспондины, radiotherapy – лучевая терапия, cholesterol-dependent – холестерол-зависимый [4, с .8, 15]. Термины-слова могут быть выражены разными частями речи: существительными, прилагательными, глаголами, причастиями, деепричастиями и наречиями.

В свою очередь, многокомпонентные термины – это терминологические словосочетания, которые могут быть образованы либо примыканием (protein data bank – банк данных о белках, Schrodinger Small Molecule Drug Discovery Suite – набор Шредингера для обнаружения низкомолекулярных лекарственных средств, tumor immune escape – иммунное ускользание опухоли) либо с помощью предлогов (impairment in base-pairing – нарушение спаривания оснований, transcriptional activity of mutant p53 – транскрипционная активность мутантного белка p53), а также представлять собой аббревиатуры (SLAM (Systemic Lupus Activity Measure) – системный показатель активности волчанки, SLEDAI (Systemic Lupus Erythematosus Disease Activity Index) – индекс активности системной красной волчанки) [4, с. 12, 63, 85].

По содержанию термины классифицируются по двум критериям: однозначные – многозначные и свободные словосочетания – устойчивые (фразеологические) словосочетания.

Прежде чем приступить к объяснению алгоритма создания глоссария на занятиях рассматриваются способы перевода термина: с помощью эквивалента, т.е. лексической единицей полностью соответствующей по значению переводимой единице, с помощью поиска аналога, представленного одной из некоторых лексических единиц, каждая из которых в определенных условиях может соответствовать переводимой единице и с помощью описательного перевода [5, с.80]. Также на занятиях рассматриваются три вида переводческих трансформаций: лексическая (транслитерация, переводческое транскрибирование, калькирование, лексико-семантические замены), грамматическая (замены форм слова, частей речи) и комплексная лексико-грамматическая (описательный перевод, антонимический перевод и компенсация) [6, с. 58].

Таким образом, алгоритм создания словаря-глоссария следующий:

– определение терминологического содержания словаря-глоссария. Для этого изучаются статьи по специальности и вычленяются слова и словосочетания, являющиеся узкоспециализированными и употребляющиеся в нетипичном значении.

– создание дефиниции выбранных терминов. При этом определения должны быть краткими и информативными. Для этого используются терминологические словари по специальности. Если лексический эквивалент (в основном, это многокомпонентные термины) не может быть найден в доступных нам специализированных терминологических словарях и глоссари-

ях, магистрант создает дефиницию самостоятельно, определяя ключевое слово и, опираясь на смысл, описывает термин.

– выбор наиболее подходящего способа перевода термина и перевод термина на русский язык.

По результатам работы с алгоритмами создается глоссарий, включающий термин на иностранном языке, его перевод на русский язык и дефиницию на иностранном языке: viral pneumonia outbreak – вспышка вирусной пневмонии – an acute inflammation of the lungs caused by a virus; “do not eat me” signal – сигнал «не ешь меня» – a type of signal that enables viable cells to precisely avoid efferocytosis, facilitating cell survival; maternal immune tolerant conditions – состояния иммунной толерантности матери – immune tolerance shown towards the fetus and placenta during pregnancy.

Создание глоссария требует внимательности, старания и, хотя и не является коммуникативным заданием, но становится таковым, если дать установку на коммуникацию. Такой вид работы предполагает творческую работу с текстом и с лексикой, так как учитывает положение термина в контексте окружающих его слов, сопровождающих выражение и осмысливание его значения, а также дает расширенную трактовку терминологических сочетаний. Создавая словари-глоссарии магистранты не только расширяют свой словарный запас, но и углубляют свои знания по теме магистерского исследования.

Библиографические ссылки

1. *Микова И. М.* Методика обучения переводу англоязычных текстов на русский язык студентов в неязыковом вузе: основные трудности и пути их решения / И.М. Микова // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 2. С. 28–34.
2. Программа-минимум кандидатского экзамена по общеобразовательной дисциплине “Иностранный язык”. URL: https://nihe.by/ (дата обращения: 10.01.2025).
3. *Бархударов Л. С.* Язык и перевод: вопросы общей и частной теории перевода : учеб. пособие. 2-е изд-е, М.: ЛКИ, 2008. 240 с.
4. *Борисова Л. И.* Лексические особенности англо-русского научно-технического перевода: учеб. пособие. М.: МПУ, 2001. 208 с.
5. *Рецкер Я. И.* Курс лекций по теории перевода : учеб. пособие. М., 2005. 141 с.
6. *Комиссаров В. Н.* Теория перевода (лингвистические аспекты) : учебник. М.: Высшая школа, 2001. 253 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ДОСКА ВЫБОРА» ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ-ЭКОЛОГОВ

Л. Н. Никитина[1)], **Т. В. Беляева**[1)], **Н. М. Левданская**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nikitina23d@mail.ru*

Изменение традиционного подхода к проведению занятий на английском языке, использование новых технологий в процессе преподавания позволит педагогам реализовать основные принципы и методы обучения. В данной статье рассматривается концепция «доски выбора», преимущества её использования и стратегии её эффективного применения при изучении английского языка.

Ключевые слова: современные педагогические технологии; технология «доска выбора»; стили обучения; разноуровневые группы; мотивация; Интернет-ресурсы.

USING “CHOICE BOARD” TECHNOLOGY IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE TO ECOLOGY STUDENTS

L. N. Nikitina[1)], **T. V. Belyaeva**[1)], **N. M. Levdanskaya**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, , nikitina23d@mail.ru*

Changing the traditional approach to English classes and using new technologies in the learning process will allow teachers to implement the basic principles and methods of teaching. This article examines the concept of «choice board» technology, the benefits and strategies of using it effectively in learning English.

Keywords: modern educational technologies; choice board» technology; learning styles; students of different levels; multi-level groups; motivation; Internet- resources.

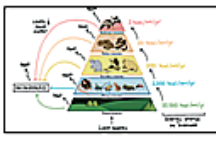
https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-429-434

В современном образовании индивидуализация обучения стала краеугольным камнем для удовлетворения разнообразных потребностей учащихся. Новый стандарт предполагает принципиальные изменения в деятельности педагога. Использование в процессе обучения новых технологий позволяет устранить однообразие образовательной среды и монотонность учебного процесса, создать условия для смены видов деятельности учащихся, реализовать основные принципы преподавания и обучения. Среди современных педагогических технологий можно выделить информационно – коммуникационную технологию, технологию критического мышления, проектную, технологию проблемного обучения, игровую, кейс – технологию, технологию творческих мастерских. Выбор необходимой технологии зависит от предметного содержания, целей занятия, уровня подготовленности обучающихся, возможности удовлетворения их образовательных запросов. При обучении иностранному языку одним из эффективных инструментов является технология голландской системы личностно-ориентированного воспитания «доска выбора». Основа этой технологии – развитие активности, самостоятельности, инициативности, уверенности в себе, что позволит в конечном итоге учащемуся самостоятельно принять решение и выбрать сферу деятельности. [1]. Стоит отметить, что данная технология способствует также дифференциации в преподавании в соответствии с уровнем подготовки студентов.

«Доска выбора» – это универсальный визуальный инструмент, предлагающий разнообразные задания, объединенные общей темой и видами деятельности по выбору студента, и представляет собой сетку или таблицу, каждая ячейка которой содержит определённое задание. Выбирая, студенты учитывают свои предпочтения, уровень владения языком, интерес к изучению нового материала. Количество заданий на доске варьируется. Некоторые доски выбора содержат простые задания, например, выберите один из двух перечисленных вариантов. На более сложных досках в сетке отображаются девять вариантов, и студентам нужно выполнить несколько заданий. Такой подход поддерживает дифференцированное обучение, позволяя применение различных стилей в рамках индивидуального подхода, а также предоставляет возможность учащимся взаимодействовать с материалом в удобной для них форме.

Преимущества «досок выбора» для занятий ESL огромны. Перспектива выбора увеличивает мотивацию и вовлеченность студентов, позволяя им контролировать процесс обучения. Принимая решение в пользу того или иного вида деятельности (listening, reading, quiz, writing, speaking, creative tasks), учащиеся осознают и оценивают свои сильные стороны, выполняют задание наиболее отражающее их интересы, демонстрируют результат своей работы, отражающий индивидуальный подход.

Разнообразные задания представлены на «досках выбора» в виде сетки, таблицы или «меню». Наиболее распространенной является сетка, в которой задания располагаются в строках и столбцах. Например, сетка 3x3 предлагает девять различных вариантов, позволяя студентам выбирать задания, которые соответствуют их интересам и предпочтениям в обучении. Существуют также таблицы в стиле «крестики-нолики», где необходимо выполнить три задания в ряд, столбец или по диагонали. Этот подход может быть особенно интересным, поскольку он вводит элемент стратегии и мотивации. На рисунке 1 представлена «доска выбора» в стиле «крестики-нолики», которая применялась на занятиях со студентами специальности природоохранная деятельность на заключительных занятиях по теме «Потоки вещества и энергии в экосистеме». Она позволила в интерактивной форме проконтролировать освоение студентами активной лексики, произносительных навыков, умений грамотно строить предложения и связывать их в текст. Таблица содержит активные ссылки на Интернет-ресурсы. Результаты студенты представили в виде скриншотов готовых заданий, презентаций, рисунков и устных ответов.

	Trophic Pyramid The flow of energy and matter in ecosystems	

Directions: Complete any 3 in a row (vertical, horizontal, or diagonal).

Do the *crosswords* (time's limited) Submit a screenshot of your results	Create a *Google drawing* that shows the trophic pyramid of Great Lakes (*ex. 16*) and describe it.	Create a *Flipgrid* or *Classtime* video on the difference between grazing and detrital food webs
Feed the Dingo game. Make your own food web and describe it	Watch the *"Flow of energy and matter through an ecosystem"* video and complete the *Exit ticket*	Do the *quiz* Submit a screenshot of your time
Watch *"Energy Pyramid"* video, illustrate it (paper or Google drawings) and describe the illustration.	Complete the *multiple-choice exercise* (time's limited) Submit a screenshot of your results	Make a slide show: Report on human activity and how it affects food chains.

Рис. 1. «Доска выбора» в стиле «крестики-нолики»

Еще один вариант структуры для «доски выбора» – «меню», где задания сгруппированы в категории, такие как «закуски», «основные блюда» и «десерты», что позволяет обучающимся выбрать сбалансированный «обед». Например, закуски могут включать вводные задания, которые активируют предыдущие знания, в то время как основные блюда предполагают более глубокое исследование и применение ранее приобретённых навыков, а десерты предоставляют творческие или рефлексивные действия для закрепления знаний. Этот формат особенно полезен в проектно-ориентированных учебных средах, где студентам необходимо взаимодействовать с материалом поэтапно (рис. 2).

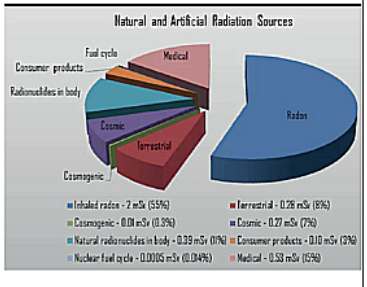
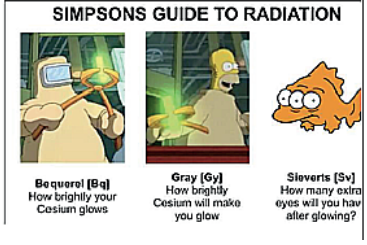
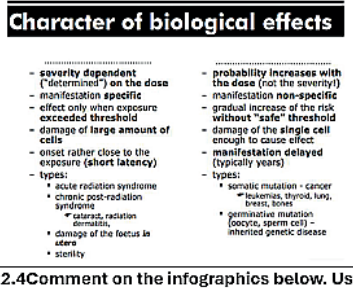
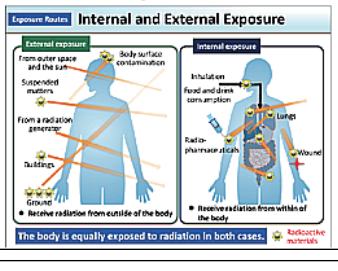
<table>
<tr><td>To start with</td><td>
<table>
<tr><td>1.1. List the sources of radiation to which you have been e
over the course of your lifetime. Does the risk depend on other f
such as geographic location or frequency of exposure? Compar
answers with the infographics.
 
</td><td>1.3. Complete the text with necessary headings.
a) Fallout from weapons testing
b) Radioactivity in the body
c) Cosmic radiation
d) Occupational exposure
e) Diagnostic radiology
f) Terrestrial sources
g) Therapeutic radiology
1. ..... reaches the earth primarily from the sun. It is composed of a very wide range of penetrating radiations which undergo many types of reactions with the elements they encounter in the atmosphere. The atmosphere acts as a shield and considerably reduces the amount of cosmic radiation reaching the earth's surface. Much higher doses (up to 140 mrem/year or 1.4 mSv/year) are received by individuals living in higher elevation areas.
2. .....The environment we live in is filled with radioactive materials. For example, the rocks and soil of the earth contain small quantities of the natural radioactive elements uranium and thorium. The concentration of these and other radioactive elements varies considerably depending on the type of rock formation. Thus, the dose rate from this source depends on the geographical location.
3. ..... The human body contains very small quantities of radioactive carbon and potassium. This radioactive material gets incorporated into tissues and organs throughout the body. The radioactive carbon originates in the atmosphere and results in a dose of approximately 1 mrem/year (0.01 mSv/year) in the soft tissue. Radioactive potassium is naturally occurring and contributes approximately 20 mrem/year (0.2 mSv/year) to the testes or ovaries.
In addition to the natural background radiation, there are many sources of man-made radiation which may contribute daily to radiation exposure for humans. These sources include:</td></tr>
<tr><td>Think about it!
 
</td><td>1.4. Complete the sentences.
1.Cosmic radiation and radioactive potassium in the body are e
of ..... .
2. Medical and occupational exposure are examples of .....</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Main task</td><td>
<table>
<tr><td>2.1 Study the picture. What type of radiation is the most penetrating? Read the text and find the details.
https://courses.lumenlearning.com
/chemistryformajors/chapter/biological-effects-of-radiation-2/</td><td>2.2 Choose the correct heading for the effects. What additional information does it provide in comparison with the text?
 
</td></tr>
<tr><td>2.3 Watch an episode from the lecture «Biological effects of radiation » and complete the tasks.</td><td>2.4Comment on the infographics below. Use active vocabulary.
 
</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Follow up discussion</td><td>
<table>
<tr><td>3.1 Do the quiz</td><td>3.2 Compile an essay on the topic of the unit.</td></tr>
<tr><td>3.3 Watch the video «Protective actions. Self-decontamination» and make a list of measures that help to decontaminate yourself of radiation.</td><td>3.3 Prepare a presentation on topic</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Рис. 2. «Доска выбора» в стиле «меню»

Также существуют уровневые таблицы, в которых задания расположены по степени сложности или комплексности, что позволяет студентам выбирать действия, соответствующие их текущему уровню подготовки, а преподавателей нацеливает на разработку многоуровневых заданий для поэтапного освоения материала от простого к сложному. При внедрении «досок выбора» в группах, где обучающиеся имеют разные уровни подготовки и владения языком, важно учитывать дифференциацию в разработке заданий, чтобы обеспечить поддержку для ребят с низким уровнем подготовки, например, с использованием упрощенных инструкций или заданий на родном языке. Более продвинутым учащимся можно предложить проекты, требующие критического мышления и самостоятельного исследования. Использование визуальных подсказок, словарей или шаблонов поможет преодолеть языковые барьеры. Совместная работа и взаимопомощь студентов в разноуровневой группе также способствует плодотворному изучению темы.

Универсальность «досок выбора» позволяет использовать их в самых разных контекстах, включая дистанционное или асинхронное обучение. (Это метод обучения, при котором учащиеся изучают материалы и выполняют задания в удобное для них время, без прямого контакта с преподавателем в режиме реального времени). Такой подход учитывает индивидуальные особенности и потребности каждого студента. Цифровые инструменты, такие как Google Slides, Canva и Padlet, особенно удобны для создания интерактивных онлайн-таблиц. Преподаватель может вставлять гиперссылки на статьи, подкасты и видео, позволяя своим ученикам напрямую обращаться к мультимедийным материалам. Например, выполнение домашнего задания может предполагать вариативность: послушать подкаст, посмотреть короткое видео или прочитать статью по одной и той же теме, а затем выполнить задание по выбранному ресурсу.

Чтобы сделать «доски выбора» эффективными, необходимо привязывать каждое задание к конкретным учебным целям, варьируя задания по формату и сложности, учитывая разные стили обучения и уровни подготовки. Например, студентам можно предложить выбор: написать эссе, записать видео или подготовить устное выступление, каждое задание развивает разные навыки и позволяет студентам представить свои достижения в удобной для них форме.

Создание эффективных досок выбора для занятий ESL включает несколько этапов:

1. Определение цели обучения
2. Выбор соответствующих заданий.
3. Организация заданий в логическом и креативном формате.
4. Предоставление четких инструкции, примеров или моделей.
5. Обеспечение разнообразия заданий и их баланса.
6. Соблюдение гибкости в том, как выполняются задания. (Студенты сами выбирают, как работать: индивидуально, в парах или в группах).

Успешное внедрение «досок выбора» на занятиях ESL включает несколько практических шагов по их интеграции в процесс преподавания и обучения:

1. Введение и объяснение. Студентам важно ознакомиться с концепцией досок выбора, понимать, как выбирать задания и достигать цели.

2. Направляемая практика. Наглядная демонстрация формата работы и результата снимает трудности в выполнении заданий.

3. Мониторинг и поддержка. Преподавателю следует наблюдать за процессом работы и оказывать поддержку студентам по мере необходимости.

4. Обратная связь. Отзывы студентов о работе с «доской выбора» необходимы, чтобы вносить коррективы для последующего использования.

Рассмотрим более детально некоторые особенности использования данной технологии на практике при обучении студентов экологов МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. На практических занятиях по английскому языку с использованием «доски выбора» могут быть предложены следующие задания.

Задания на **аудирование**. Развитие аудитивных навыков это активный мыслительный процесс, направленный на восприятие, узнавание и понимание речевого сообщения, что является необходимым для улучшения навыков устной речи. Занятие может включать прослушивание подкаста или аудиозаписи и ответы на вопросы на понимание ключевых деталей, основных идей и выводов. Чтобы сделать это задание более интерактивным, обучающиеся могут сравнить свои ответы с ответами однокурсников или создать короткое письменное или устное высказывание. Другой вариант – посмотреть короткое видео и суммировать основные моменты либо в форме эссе, либо в виде устной презентации, либо в виде визуальной презентации. Преподаватель может интегрировать приложения ESL или веб-сайты, которые предоставляют интерактивные упражнения для восприятия речи на слух (заполнение пробелов в тексте, тесты с множественным выбором, ответы на вопросы или корректировка предложений, не соответствующих содержанию).

Задания на **говорение**. Устное общение является важнейшим аспектом изучения языка, и «доски выбора» предлагают увлекательные способы практиковать говорение. Одно из заданий может включать подготовку и выступление с короткой устной презентацией по заданной теме. Чтобы добавить элемент сотрудничества, студенты могут представлять свои выводы, в небольших группах получая обратную связь от сверстников. Ролевые игры с однокурсниками могут имитировать реальные разговоры и жизненные ситуации, такие как заказ блюд в ресторане, проведение собеседования при приеме на работу, помогая студентам обрести не только уверенность в практическом общении на иностранном языке, но и сосредоточиться на произношении, беглости и погружении в реальную обстановку.

Задания на **чтение**. Задания на чтение помогут развить навыки понимания разнообразных текстов и расширить словарный запас. Один из вариантов – прочитать статью или короткий рассказ и написать резюме, выделив ключевые моменты и основные аргументы. Более сложные задания предлагают студентам сформулировать вопросы для обсуждения или подготовить краткую презентацию по темам текста. В качестве альтернативы обучающиеся могут прочитать отрывок и создать визуальную картинку, например, интеллект-карту, схему, таблицу, чтобы проиллюстрировать ключевые идеи и связи между событиями.

Задания на **письмо**. Задания для отработки навыков письменной речи на «доске выбора» могут различаться по сложности и цели. Задание на рефлексию может быть в форме эссе, в котором студенты имеют возможность выразить свои мысли и мнения на английском языке. Для более структурированного задания ребята могут написать письмо в определенном формате, например, официальное деловое электронное письмо, письмо-приглашение или благодарственное письмо. Творческие личности выберут создание короткого рассказа или повествования на основе набора подсказок, исследуя развитие персонажей, диалоги и методы повествования. Работая в сотрудничестве в мини группах, студенты могут обмениваться черновиками для получения отзывов и корректировки окончательного варианта работы.

Грамматические и лексические задания. Освоение грамматики и пополнение словарного запаса имеет основополагающее значение для изучающих английский язык, и «доски выбора» могут предоставить увлекательные способы закрепления этих навыков. Это могут быть упражнения по грамматике, посвященные определенной теме, или создание списка слов, который впоследствии можно использовать для викторин или работы с карточками. Чтобы сделать обучение более интерактивным, студенты могут участвовать в словарной игре, в словесных ассоциациях, кроссвордах или цифровых викторинах с использованием таких инструментов, как Kahoot или Quizlet. Эти занятия не только закрепляют языковые структуры и развивают языковые навыки, но и делают процесс обучения интерактивным и динамичным.

«Доска выбора» на основе **проектов**. Итоговое занятие по теме может быть представлено и в виде проекта. Использование «доски выбора» позволяет каждому студенту группы определиться с выбором темы самостоятельно, учитывая свои собственные предпочтения и ин-

тересы, проявляя креативность, оригинальность и творческие способности. Предоставление разнообразных вариантов не только соответствует разным стилям обучения и уровням навыков, но и побуждает учеников брать на себя ответственность за свое обучение. Привлечение обучающихся к мозговому штурму потенциальных идей проектов с целью включения их в доску выбора также повышает мотивацию и стимулирует активность и вовлеченность в процесс. Существует бесчисленное множество способов, которыми студенты могут продемонстрировать свое понимание и владение темой. Например, те, кому нравится писать, могут выбрать написание эссе, анализируя тему, событие или высказывая аргументированную точку зрения на социальную проблему. Студенты, которые предпочитают цифровые медиа, могут создать видеопрезентацию, отчет в документальном стиле или анимированное поясняющее видео, чтобы передать ключевые концепции. Те, кому нравится устное общение, могут рассказать историю или создать эпизод, в котором они берут интервью у эксперта, обсуждают спорную тему или рассказывают о личном опыте, связанном с предметом. Для студентов, склонных к практическому творчеству, 3D-модель может стать идеальным способом самовыражения в визуальном формате. Творческие личности могут создать произведение искусства, например картину, коллаж или цифровую иллюстрацию, которая символизирует ключевые темы их исследования. Кроме того, студенты, интересующиеся технологиями, могут разработать интерактивный вебсайт, инфографику или мультимедийную презентацию, которая представит их исследование в увлекательной форме.

Предлагая несколько вариантов проектов, «доска выбора» способствует вовлеченности, дифференциации и более глубокому изучению темы. Она позволяет обучающимся демонстрировать свои знания способами, которые кажутся им естественными и приятными, делая процесс более осмысленным. Предоставляя творческую свободу своим ученикам, преподаватель, тем не менее, осуществляет мониторинг на каждом этапе, оказывает поддержку и гарантирует достижение целей обучения.

Таким образом, практика использования «доски выбора» на занятиях по иностранному языку способствует развитию ключевых языковых навыков, таких как восприятие речи на слух, говорение, чтение и письмо. Кроме того, данная технология развивает автономность и ответственность студента в выборе задания и управлении своим процессом обучения. Преподаватель, в свою очередь, может обеспечить всесторонний опыт изучения языка, адаптируя его к потребностям и возможностям студентов.

Библиографические ссылки

1. *Katherine Rowe* Setting Up Choice Boards in Math and Science [Электронный ресурс] // Edutopia URL: https://www.edutopia.org/article/using-choice-boards-math-science/ (дата обращения: 25.01.2025).

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

М. В. Орлова[1)], **И. М. Качан**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfl@iseu.by*

Аннотация: В статье рассматривается методический потенциал использования искусственного интеллекта в процессе обучения иностранным языкам. Приводятся преимущества и вызовы, которые могут возникнуть при интеграции технологий ИИ в преподавание иностранных языков.

Ключевые слова: искусственный интеллект; методический потенциал; обучение иностранным языкам; персонализированное обучение; ИИ-системы.

THE METHODOLOGICAL POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FOREIGN LANGUAGE LESSONS

M. V. Orlova[1)], **I. M. Kachan**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfl@iseu.by*

The abstract: The article discusses the methodological potential of using artificial intelligence in the process of foreign language learning. It presents the advantages and challenges that may arise when integrating AI technologies into foreign language teaching.

Keywords: artificial intelligence; methodological potential; foreign language learning; personalized learning; AI systems.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-435-439

Современные технологии стремительно меняют сферу образования, и одним из самых значительных достижений последних лет стало внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в процесс обучения. В целом, искусственный интеллект представляет собой сложную математическую модель, основанную на мощных вычислительных алгоритмах, которая позволяет прогнозировать результаты, решая интеллектуальные задачи. Анализируя огромные объемы данных и оценивая заданные критерии, ИИ формирует наиболее точный и обоснованный ответ. Основное преимущество нейросетей заключается в их способности к самообучению, что позволяет им развиваться и совершенствоваться без непосредственного вмешательства IT-специалиста, благодаря технологиям машинного обучения [1]. Искусственный интеллект и технологии машинного обучения широко используются в сфере образования. Они применяются как для проведения и проверки экзаменов, так и для автоматизированного подбора учебных материалов, ориентированных на сложные для учащегося темы. Анализируя успеваемость и продуктивность студентов, ИИ помогает им глубже разобраться в предмете, повысить уровень знаний и навыков, а также корректирует индивидуальный учебный план. При этом постоянный и объективный контроль со стороны алгоритмов позволяет обеспечивать адаптивный подход к обучению без субъективного влияния [2].

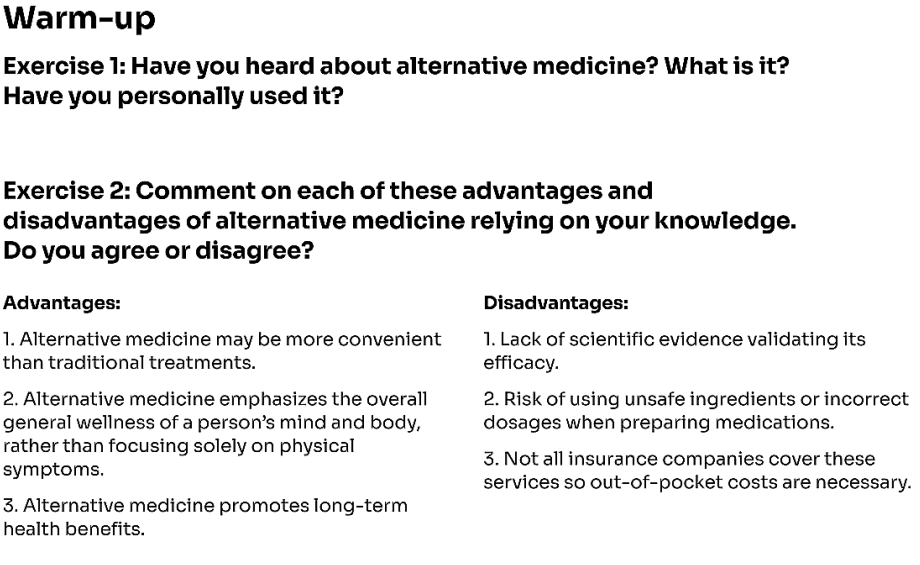
Использование искусственного интеллекта в учебном процессе является неизбежным процессом цифровизации. Однако, следует отметить, что в сфере образования интерактив-

ные технологии применялись постепенно. Первыми их стали использовать студенты, занимаясь поиском информации в интернете, применять различные приложения и программы для перевода с иностранного языка на родной и наоборот, создания учебных сайтов и т.д. Тем не менее на современном этапе, с проникновением цифровых технологий в каждую область нашей жизни, невозможно представить себе образовательную сферу без них. В эпоху цифровизации наибольшее внимание привлекает искусственный интеллект [3]. Согласно аналитической записке Института ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании, ИИ сыграет ключевую роль в реализации идеи персонализированного обучения, а именно адаптации содержания обучения и темпа учебного процесса к конкретным потребностям каждого обучающегося [4].

В последние годы ИИ активно используется для изучения иностранных языков, открывая новые возможности, и позволяет сделать обучение более персонализированным, интерактивным и эффективным. Использование алгоритмов машинного обучения, нейросетей и языковых моделей помогает автоматизировать проверку заданий, подбирать индивидуальные учебные материалы, а также развивать навыки устной и письменной речи с помощью голосовых ассистентов и чат-ботов. Например, при изучении новых слов популярны такие приложения, как Quizlet и Anki, которые помогают запоминать лексику с помощью карточек. Для общения с носителями языка используются платформы Tandem и HelloTalk, где студенты могут практиковать язык в реальных диалогах. В рамках учебных проектов учащиеся могут создавать собственные образовательные сайты и блоги, используя конструкторы вроде Wix или WordPress. Данные технологии способны адаптироваться к уровню знаний каждого ученика, предлагать оптимальный темп обучения и давать мгновенную обратную связь.

Для облегчения подготовки материалов преподаватели могут использовать платформу Twee, которая автоматизирует создание заданий по грамматике, лексике, чтению, аудированию и письму. Twee генерирует разнообразные упражнения, транскрибирует видео, формирует вопросы и предлагает темы для обсуждений. Задания, которые сгенерировала платформа, зачастую необходимо проверять и корректировать. Однако, несмотря на это, данный инструмент существенно экономит время и стимулирует творческий процесс.

Ниже приведены примеры предтекстовых заданий на английском языке для студентов по теме Alternative medicine для уровня B1 (рис. 1) и задания для самостоятельной домашней работы (рис.2):



Warm-up

Exercise 1: Have you heard about alternative medicine? What is it? Have you personally used it?

Exercise 2: Comment on each of these advantages and disadvantages of alternative medicine relying on your knowledge. Do you agree or disagree?

Advantages:

1. Alternative medicine may be more convenient than traditional treatments.

2. Alternative medicine emphasizes the overall general wellness of a person's mind and body, rather than focusing solely on physical symptoms.

3. Alternative medicine promotes long-term health benefits.

Disadvantages:

1. Lack of scientific evidence validating its efficacy.

2. Risk of using unsafe ingredients or incorrect dosages when preparing medications.

3. Not all insurance companies cover these services so out-of-pocket costs are necessary.

Рис. 1. Пример предтекстового задания ресурса Twee

Homework

Exercise 8. Choose one essay topic from the list and write a 250-word essay expressing your opinion.

1. What are the potential risks of using alternative medicine? Give your opinion.

2. Is utilizing alternative medicine a cost-effective way to treat various illnesses? Give your opinion.

3. What are some of the biggest challenges to using alternative medicine instead of traditional medical treatments?

4. What are the legal implications of using alternative medicine as a medical treatment?

Рис. 2. Пример домашнего задания ресурса Twee

Очень интересные виды деятельности предлагает Character.ai. Одно из заданий состоит в том, чтобы найти известную личность (напр., Йонат Ада -.Руководитель Центра биомолекулярной структуры им. Элен и Милтона Киммельман при Институте Вейцмана (г. Реховот). *Область научных исследований:* структуры и функции рибосомы, принципы функционирования лекарственных препаратов, уничтожающих болезнетворные микроорганизмы в теле человека с помощью воздействия на рибосомы. Почётный профессор Московского университета с 2015 г.) и поддержать разговор с ней на определенную тему ее научных исследований. Кроме того этот ресурс предлагает опцию озвучивания персонажа, что помогает совершенствованию аудио-фонетических компетенций (рис. 3):

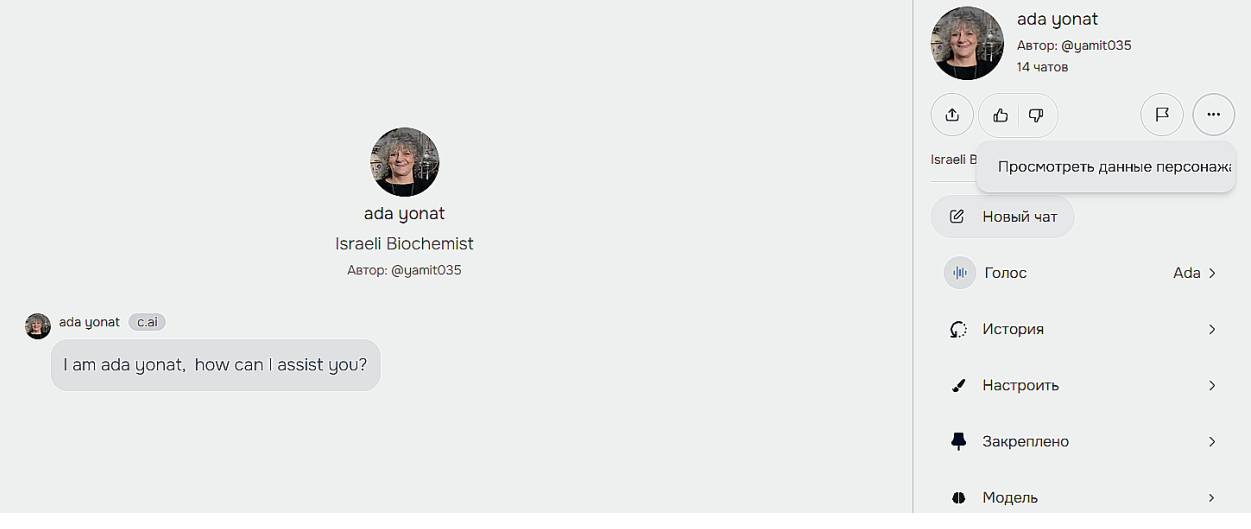


Рис. 3. Пример задания ресурса Character.ai

Методический потенциал ИИ на занятиях можно оценить следующим образом:

1. Использование ИИ-систем для автоматической оценки устной и письменной речи, а также для отслеживания ошибок и уровня владения языком. ИИ-системы отслеживают уровень владения языком, используя машинное обучение и анализируя данные от студента. Например, ИИ-система может отследить ошибки в грамматике, словарный запас, произношение и т.д. Кроме того, ИИ-система может отслеживать прогресс студента во времени, чтобы увидеть, улучшается ли его уровень владения языком. Таким образом, студент может сразу увидеть свои сильные и слабые стороны и соответственно скорректировать свою речь или письменно задание. К сильным сторонам во владении языком можно отнести способности, которые по-

могают человеку использовать язык эффективно и свободно. К ним относятся хорошее знание грамматики, богатый словарный запас, хорошее понимание языковых норм и правил, умение ясно и логично выражать свою мысль. Слабые стороны – это области, в которых человек испытывает затруднения и нуждается в совершенствовании. Например, трудности в произношении, трудности с грамматикой или с большим словарным запасом. Кроме того, ИИ-система может отслеживать ошибки и уровень владения языком, что помогает преподавателю в индивидуальном преподавании.

2. Разработка индивидуализированных планов обучения в зависимости от сильных и слабых сторон каждого студента. Используя ИИ-системы, преподавателю легко собрать информацию о студентах, такие как предпочтительный learning style, прогресс и уровень владения языком. После этого ИИ-система может помочь преподавателю разработать персонализированный план обучения для каждого студента, чтобы он мог максимально эффективно учиться.

3. Проведение оценочных тестов, отслеживание прогресса и адаптация обучения в реальном времени. Преподаватель может использовать ИИ-системы для проведения тестов для оценки прогресса каждого студента в определенный момент времени. По результатам теста, ИИ-система может адаптировать обучение к потребностям каждого студента в реальном времени. Например, если студент имеет низкий уровень владения языком, то ИИ-система может предложить более легкие упражнения или более интенсивное обучение.

Как и любая интерактивная технология, ИИ имеют ряд преимуществ и недостатков. Среди основных преимуществ использования ИИ при изучении иностранного языка можно выделить следующие:

1. Индивидуальный подход. ИИ-алгоритмы анализируют уровень знаний каждого студента и подбирают соответствующие упражнения. Это позволяет учащимся двигаться в комфортном темпе и сосредотачиваться на сложных для них аспектах языка. Пример: Платформы Duolingo и Babbel адаптируют задания в зависимости от успехов студента, предлагая более сложные или упрощенные упражнения.

2. Доступность и удобство. Обучение с помощью ИИ-дополненных платформ возможно в любое время и в любом месте, достаточно лишь иметь доступ к интернету. Это особенно полезно для самостоятельного изучения языка. Пример: Онлайн-приложения для изучения языков позволяют практиковаться без необходимости посещать занятия в классе.

3. Улучшение навыков аудирования и произношения. Программы с распознаванием речи анализируют произношение студента и дают рекомендации по его улучшению. Пример: Приложение Elsa Speak помогает улучшать акцент, сравнивая речь учащегося с образцом носителей языка.

4. Автоматизированная проверка грамматики и стилистики. ИИ-системы могут мгновенно исправлять ошибки в письменных работах, предлагая рекомендации по их исправлению. Пример: Grammarly или Write & Improve помогают студентам улучшать грамматику, стилистику и структуру текстов.

5. Мотивация через игровые элементы. Многие ИИ-приложения используют геймификацию, что делает процесс обучения более интересным и мотивирующим. Пример: В Duolingo студенты получают награды за выполнение заданий, что стимулирует их к регулярной практике.

Среди основных минусов использования ИИ в обучении иностранным языкам можно выделить следующие:

1. Ограниченность в развитии живого общения. Хотя ИИ-ассистенты и чат-боты могут имитировать диалог, они не заменяют реального общения с носителями языка, где важны эмоциональные нюансы, интонация и спонтанность речи. Пример: Автоматизированные диалоги в чат-ботах часто лишены естественности, что может затруднять развитие разговорных навыков.

2. Зависимость от технологий. Изучение языка через ИИ-программы требует постоянного доступа к интернету и устройствам, что может быть проблемой в условиях нестабильного

подключения. Пример: Студенты, привыкшие к переводу через Google Translate, могут терять навык самостоятельного построения предложений.

3. Недостаток персонализации. Хотя ИИ способен адаптироваться к уровню знаний студента, он не всегда понимает индивидуальные особенности восприятия информации, стиль обучения или личные предпочтения. Пример: Некоторые студенты лучше воспринимают информацию в диалогах с преподавателем, а не через алгоритмы.

4. Возможные ошибки и недочеты. ИИ не всегда правильно интерпретирует контекст, что может приводить к ошибочным переводам и некорректному объяснению грамматических правил. Пример: Автоматический переводчик DeepL или Google Translate может ошибочно перевести идиомы или сложные выражения.

5. Отсутствие творческого подхода. ИИ обучается по заранее заданным алгоритмам и не способен генерировать креативные задания, стимулирующие нестандартное мышление. Пример: Программа может проверять эссе на ошибки, но не способна оценить оригинальность идеи или художественный стиль текста.

Применение ИИ на занятиях по иностранным языкам открывает новые горизонты для образовательного процесса, делая его более гибким и эффективным. Однако, несмотря на все преимущества, технологии ИИ не могут полностью заменить традиционные методы обучения. Наилучший результат достигается при интеграции ИИ с классическими педагогическими подходами, что позволяет сочетать лучшие стороны обоих методов. В будущем ожидается появление ещё более продвинутых решений, которые сделают изучение иностранных языков ещё более доступным и увлекательным.

Библиографические ссылки

1. Искусственный интеллект: что это и его возможности. URL: https://www.nur.kz/family/school/1817736-iskusstvennyj-intellekt-sovremennyevozmoznosti-i-perspektivy (дата доступа: 05.03 . 2024).

2. *Рольгайзер А. А.* Перспективы использования искусственного интеллекта в практике преподавания иностранного языка // Актуальные вопросы лингводидактики и методики преподавания иностранных языков: сб. науч. ст. Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2022. С. 243–248.

3. *Кувшинова Е. Е.* Применение искусственного интеллекта в обучении иностранному языку // Гуманитарий Юга России. 2024. Т. 13. № 2 (66). -С. 75–84

4. *Даггэн С.* Искусственный интеллект в образовании: изменение темпов обучения. Аналитическая записка ИИТО ЮНЕСКО. М.: Институт ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании, 2020. 44 с.

ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРЕДМЕТА «ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК» В ВУЗЕ

Н. Н. Талецкая[1)], **И. Ф. Мишкинь**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, taletskaya_16@rambler.ru*

В данной статье представлена экологизация предмета «иностранный язык» в вузе с позиции включения экологических аспектов в содержание дисциплины. Особое внимание уделяется образовательной технологии для развития умений и навыков, необходимых для осуществления студентами успешной экологически ориентированной межкультурной коммуникации. Обоснован выбор технологии «кейс-стади», которая последовательно развивает все компоненты экологической компетенции.

Ключевые слова: экологизация; предмет «иностранный язык»; экологическая компетенция; вуз.

PROBLEM OF ECOLOGIZATION THE SUBJECT “FOREIGN LANGUAGE” AT THE UNIVERSITY

N. Taletskaya[1)], **I. Mishkin**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, taletskaya_16@rambler.ru*

This article presents the ecologization of the subject “foreign language” in higher education institution from the position of inclusion of ecological aspects in the content of the discipline. Special attention is paid to the educational technology for the development of skills and abilities necessary for students to realize successful ecologically oriented intercultural communication. The choice of “case study” technology, which consistently develops all components of ecological competence, is justified.

Keywords: ecologization; subject „foreign language”; ecological competence; university.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-440-443

Экологическое воспитание в процессе получения высшего образования является неотъемлемой частью изучения данного аспекта. Вопрос актуальности данной тематики стоит как никогда остро в мире. С развитием человечества тема защиты окружающей среды становится еще более популярной, ведь человек имеет свойство преуменьшать значение природы в своей жизни.

Экологическим воспитанием необходимо заниматься, начиная с раннего детства, и продолжать параллельно всего развития человека. В настоящее время именно деятельность людей стала причиной разрушительных воздействий на природу, следовательно, глубоких изменений в экологическом равновесии всех живых систем окружающей среды.

Следует отметить, что необходимость принимать как неотложные законодательные, так и практические меры для охраны окружающей среды, остаются в приоритете сегодняшнего дня.

Главное, что эта проблема имеет планетарный характер и не решается в рамках одной страны, одного отдельного региона или одной группы людей.

Выход из экологического кризиса управляется участием в этом процессе всех нас, объединенных общим экологическим мировоззрением, фундамент которого должен быть заложен в образовательном процессе детских садов, школ, колледжей и высших учебных заведений [1]

В этом и состоит основная сущность решения проблемы экологического образования и воспитания детей как в раннем возрасте, так и молодежи в высшем учебном заведении в особенности.

В соответствии с государственными образовательными стандартами общего, профессионального и высшего образования, перед нами, преподавателями, стоит задача формирования качеств личности, которые обеспечат использование творческого потенциала в решении глобальных проблем человечества.

Необходимо выделить, что у нас в стране наблюдается экологизация учебных предметов, что является огромным плюсом, которая способствует развитию экологических знаний, экологической культуры и экологического воспитания студенческой аудитории.

Известно, каким важным воспитательным, образовательным и развивающим потенциалом обладает иностранный язык как учебный предмет в экологической культуре в процессе изучения иностранных языков.

Иностранный язык один из самых действенных факторов научно-технического и общекультурного прогресса общества. Он обладает всеми определёнными возможностями в экологически культурной направленности воспитания в процессе изучения данного языкового предмета.

В ходе проведения занятий по иностранному языку могут быть использованы специальные методы, педагогические технологии, экологически ориентированные занятия с применением специальных текстов, расширяющие словарный запас по темам защиты окружающей среды, воспитывающих правильное взаимодействие с внешней средой, а главное – формирующих общую экологическую культуру человека.

Для успешного включения экологических компонентов в дисциплину «иностранный язык» необходимо использовать адекватные методы и технологии. По мнению преподавателей, метод кейсов является наиболее оптимальным.

Реализация метода включает в себя следующие этапы:

- знакомство с экологической проблемой, изучение лексики;
- обсуждение в малых группах;
- работа с ресурсами, с аутентичными материалами;
- представление результатов;
- обмен мнениями.

Конечно, метод кейсов требует от преподавателя существенной подготовки. Ему необходимо выбрать действительно экологическую проблему, подобрать аутентичные ресурсы и источники информации, разработать задания для организации аудиторной и внеаудиторной работы с кейсом [2].

По мнению педагогов, сегодня недостаточно передавать студентам информацию о существовании экологических проблем и путях их устранения [3].

Главное – выработать у будущих специалистов внутреннюю потребность принимать адекватные экологически рациональные решения, т.е. сформировать у них экологическое мышление.

Экологически культурное образование и воспитание студентов высшего учебного заведения через предмет «Иностранный язык» могут идти по двум направлениям или более, в зависимости от уровней изучения иностранных языков:

- Изучение проблем экологии и охраны окружающей среды в рамках аудиторной работы по дисциплине

«Иностранный язык», где можно выделить вопросы по решению экологических проблем в отдельную тему рабочей программы с интеграцией экологической проблематики и в слиянии с другими разделами или темами.

- Организация и проведение внеаудиторной работы по экологической проблематике.

Так, например, при изучении темы: «Мое свободное время, мой свободный день» можно обсудить виды хобби, как они связаны с природой, как грамотно и полезно поддерживать здоровый образ жизни на свежем воздухе, что такое экологический досуг для вас лично или для вашего ближайшего окружения. Студентам предлагается подготовить дискуссию про животных, занесенных в Красную книгу, про защиту лесов, рек, озер и их обитателей. Тема: «Путешествие» раскрывает плюсы пешего туризма, как самого безопасного экологического досуга, оздоровления себя и своего окружения, с умением грамотно утилизировать за собой отходы, с соблюдением правил разведения огня, при этом, не нанося урон природе. Особое место в этом разделе можно уделить следующим темам: «Спорт». «Еда», «Здоровье».

Завершив изучение данного раздела, студенты могут создавать свои личные проекты по следующим тематикам:

− Рекомендации по здоровому образу жизни для различных категорий населения (детей, взрослых,

пожилых и престарелых);

− Рекомендации по разработке советов по здоровому питанию;

− Рекомендации по физической активности и здоровому образу жизни [4].

Защищая проекты, студенты сами начинают принимать на себя ответственность за пути важности, необходимости повышения уровня своего здоровья, а также потенциала населения. Это и есть главная компетенция будущего специалиста по экологически культурному воспитанию и социальной работе.

Задача преподавателей иностранного языка – заинтересовать студентов экологическими проблемами, используя при этом всевозможные формы и методы экологического образования и воспитания.

Междисциплинарный подход при обучении иностранному языку в вузе способствует расширению общего кругозора, развитию коммуникативных навыков; эколого-гуманистический подход в экологическом образовании, в формировании гуманности, ответственности, глобального взгляда на современные экологические проблемы, на формирование общей и экологической культуры личности.

Следует отметить, что для формирования социально-экологической компетенции необходимо обязательно включить мотивационный компонент, стимулирующий потребности в изучении иноязычной лексики с целью получения актуальной информации также по проблемам экологии. Хорошим стимулом является информация о действующих в вузе международных программах, конференциях, международных семинарах, необходимым условием которых являются знания иностранного языка.

Так, в 2019 году в МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ при поддержке Германской службы академических обменов (DAAD) состоялся курс на тему «Устойчивое развитие и энергетика – содержательное определение терминов и их использование в языковой подготовке».

Представители курса ставили перед собой цель, не только повышение квалификации, расширение знаний об устойчивом развитии и энергетики, о возобновляемых источниках энергии, но разработка комплекта учебных материалов для языковой подготовки.

Комплект материалов, разработанный германскими коллегами включал тексты и задания, прежде всего об экономии ресурсов в быту (воды, электричества), о возобновляемые виды энергии, а также информацию про органические продукты, которые производятся без применения химических средств. Перед преподавателем иностранного языка в вузе стоит задача переработать содержание дисциплины «иностранный язык» таким образом, чтобы экологические компоненты были органично включены в темы, предусмотренные рабочей программой дисциплины.

Программа дисциплины «иностранный язык» в МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ предусматривает изучение таких тем, как «Биография. Семья. Дом», «Будни. Досуг», «Встречи и путе-

шествия». Следует отметить, что первая тема может быть дополнена экологическим компонентом «In der Gastfamilie» («В принимающей семье»). Данная тема позволяет не только провести сопоставление быта белорусской и немецкой семьи, познакомиться с энергосберегающими основами повседневной жизни иностранцев, но и в форме ролевой игры продемонстрировать полученные коммуникативные навыки.

При изучении темы «Высшее образование в Республике Беларусь и ФРГ», «Мой вуз / мой факультет» можно обратить внимание студентов на большое количество экологических мероприятий, которые регулярно проводятся в вузе.

Необходимо добавить, что студенты изучают вопросы, связанные с географией, политикой, культурой своей страны и страны изучаемого языка. Перечень вопросов можно расширить рассмотрением актуальных проблем экологии в разных странах, а также способов их решения. Активная работа с онлайн-ресурсами, анализ информации, обсуждение полученных результатов в группе будет способствовать формированию навыков публичной речи на иностранном языке [4].

Подводя итог, можно смело сказать, что все, что повышает интерес студента к изучению иностранных языков, зависит не только от современных технологий, от активности мышления студентов, но и от умения преподавателя создавать и открывать творческие навыки каждого на занятиях, иметь способность прививать интерес в изучении иностранного языка, развивать интерес к самообучению, а главное – повысить так мотивацию к усвоению данного предмета, чтобы студент умел получать эмоциональную радость от обучения, не бояться оптимально быстро и доступным языком высказывать свою точку зрения, с интересом выполнять разного уровня задания и многое другое, что способствует успеху в изучении иностранного языка.

Библиографические ссылки

1. Гришаева Ю. М. Проектирование педагогической системы формирования экопрофессиональной компетентности студентов гуманитарного вуза // Акмеология. 2012. № 4. С. 55–60.

2. Дзятковская Е. Н., Захлебный А. Н. Гуманитаризация экологического образования как вектор его развития до 2030 г. // Непрерывное образование: XXI век (электронный научный журнал). 2021. Вып. 1 (33). URL: http:// LLL21. petrsu.ru (дата обращения: 08.02.2025).

3. Новикова Е. В. Профессиональный иностранный язык: от теории к практике // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2019. № 2 (17). URL: http://ejournal.jmgau.ru/images/issues/2019/2/00749.pdf. (дата обращения: 10.02.2025).

4. Есмурзаева Ж. Б., Новикова Е. В. Экологизация дисциплины иностранный язык в аграрном вузе. // Вестник Московского гос. ун-та. Сер. Педагогика. 2021. № 3. С. 107-116

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ ПРИ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ЛЕКСИКЕ СТУДЕНТОВ НЕЯЗЫКОВЫХ ВУЗОВ

Г. В. Третьяк[1)], **А. И. Тюрдеева**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, galina.tretyakk@gmail.com*

Данная статья направлена на изучение применения интеллект-карт в обучении специализированной лексике английского языка. Использование интеллект-карт для обучения английской лексике может улучшить память и применение словарного запаса учащихся, делая обучение более интересным и эффективным, а также улучшить способность учащихся к самообучению. В статье также рассматривается теория конструктивизма и теория визуализации знаний для того, чтобы детально проанализировать и сделать правильные выводы. Статья содержит подробное руководство по использованию интеллект-карт для организации, классификации и повторения английской лексики.

Ключевые слова: интеллект-карты; преподавание английского языка; изучение лексики; ментальное картирование; теория конструктивизма; теория визуализации знаний.

APPLICATION OF MIND MAPPING TECHNOLOGY IN TEACHING SPECIALIZED VOCABULARY TO STUDENTS OF NON-LINGUISTIC UNIVERSITIES

G. V. Tretyak[1)], **A. I. Turdeeva**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, galina.tretyakk@gmail.com*

This article aims to study the application of mind maps in teaching specialized English vocabulary. Using mind maps to teach English vocabulary can improve students' memory and vocabulary usage, making learning more interesting and effective, and also improve students' self-learning abilities. The article also examines the theory of constructivism and the theory of knowledge visualization in order to analyze in detail and draw correct conclusions. The article provides a detailed guide to using mind maps to organize, classify, and review English vocabulary.

Keywords: mind-maps; English language teaching; vocabulary learning; mental mapping; constructivism theory; knowledge visualization theory.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-444-447

Словарный запас является основой языка и играет важную роль во всех его аспектах, включая чтение, письмо, говорение и аудирование. Без прочной словарной базы студенты могут испытывать трудности в понимании текстов, выражении идей и общении с другими людьми. Приобретение словарного запаса является неотъемлемой частью изучения языка, поскольку словарный запас дает слова, необходимые для выражения мыслей, эмоций и идей. Таким образом, важность приобретения словарного запаса очевидна. Качество и количество словарного запаса человека напрямую влияют на его способность выражать смыслы и идеи. Студенты с богатым словарным запасом могут общаться более свободно, в то время как студенты с ограниченным словарным запасом могут испытывать проблемы с общением. Чем больше словарный запас у человека, тем точнее и понятнее становится его речь. Пополнение словарного запаса имеет решающее значение не только для изучения английского языка, но и для формирования образа мышления. Изучая новые слова, человек может расширить свои знания

и улучшить когнитивные способности, поскольку словарный запас играет важную роль в языке и овладении языком [1].

Особенность английского языка заключается в том, что он обладает обширным словарным запасом, где многие слова звучат похоже, но имеют разные значения или несколько определений. Это создает трудности для студентов, изучающих английский язык, которые с трудом запоминают новые слова и различают похожие. Им также может быть сложно научиться правильно использовать слова в контексте.

Одной из самых сложных задач для студентов является приобретение достаточного словарного запаса, чтобы точно выражать свои мысли в устной и письменной форме. Исследования показали, что объем словарного запаса напрямую связан с пониманием прочитанного, навыками письма и общей успеваемостью в учебе. Однако пополнение словарного запаса требует значительных усилий и самоотдачи со стороны учащихся.

Помимо огромного количества специализированной лексики, которую необходимо выучить, еще одной проблемой является сложность английского правописания и произношения. Несмотря на то, что существуют некоторые шаблоны и правила, регулирующие правописание, английская орфография очень сложна и часто противоречива. Кроме того, многие английские слова произносятся иначе, чем пишутся, что затрудняет приобретение студентами навыков точного произношения [2].

Контекстуальное понимание также имеет решающее значение для эффективного овладения словарным запасом, поскольку английские слова редко существуют изолированно. Учащиеся, изучающие английский язык, должны научиться правильно использовать нужные слова в предложениях и понимать, как меняется их значение в разных контекстах. Более того, в английский лексикон постоянно добавляются новые слова и словосочетания, что еще больше усложняет задачу овладения словарным запасом [1].

Интеллект – карты (mind maps) − это визуальный инструмент, который помогает людям систематизировать и связывать идеи, мысли и концепции. Разработанные Тони Бьюзаном в 1960-х годах, интеллект-карты в настоящее время широко используются в образовании, бизнесе и личностном развитии. Это эффективный способ мышления, который направляет память и когнитивные способности мозга посредством сочетания графики и текстов. Это инструмент, который помогает людям развивать когнитивные способности и расширять свои мыслительные способности. Использование интеллект-карт на занятиях английского языка может дать возможность студентам быть активными учащимися, самостоятельно добывать факты и обрабатывать информацию.

Технология интеллект-карт позволяет задействовать два полушария мозга. В данной технологии часто используются изображения, символы и цвета, которые активизируют правое полушарие мозга, ответственное за творчество и воображение. Между тем, текст и логические связи активизируют левое полушарие, отвечающее за рассуждения и анализ. Объединяя эти два типа мышления, данная технология может помочь своим пользователям генерировать и связывать новые идеи, что приводит к более глубокому пониманию сложной информации.

Интеллект-карты дают учащимся подсказки относительно основного содержания обучения, вдохновляя их использовать свои собственные знания и общение для дальнейшего накопления знаний, углубления понимания и интеграции их с существующей когнитивной структурой [3].

Интеллект-карты − это научный и эффективный инструмент мышления. Он стимулирует мышление учащихся с помощью прямых и ярких визуальных эффектов, а затем создает четкую графическую и текстовую систему знаний, преобразуя их мышление в явную систему знаний. Преподавателям полезно понимать мыслительную деятельность учащихся и проводить обучение, основываясь на ситуации, в которой учащиеся учатся. Кроме того, метод рисования является лаконичным и простым в освоении, и он не ограничен местоположением и окружающей

средой. Актуальная лексика, которая представлена в виде ментальных карт, может стимулировать работу мозга во многих аспектах и сделать обучение более эффективным. Визуализация знаний широко применяется в лингвистике, поэтому визуальное выражение символов может более интуитивно передавать языковой смысл, способствуя тем самым овладению знаний и коммуникации. Визуальный язык является важным средством коммуникации, передающим информацию с помощью визуальных символов, таких как изображения, цвета и расположение. Интеллект-карты помогают учащимся расширить свой словарный запас, связывая новые и старые слова с визуальными эффектами, которые помогают передать смысл в определенной обстановке. Таким образом, использование визуальных символов в визуализации знаний может помочь учащимся лучше понимать и запоминать знания.

При изучении английского языка учащиеся используют традиционный метод изучения лексики и выполняют обычные задания по изучению лексики после занятий. При использовании технологии интеллект-карт лексика ассоциируется, визуализируется и схематизируется в ментальном картировании для углубления анализа и понимания лексики учащимися. После занятий учащиеся должны выполнять словарные задания по составлению интеллект-карт.

Конкретные рабочие этапы заключаются в следующем:

– тренировка по составлению интеллект-карт для ключевых слов на английском языке. Преподаватель объясняет стратегию составления интеллект-карт и направляет учащихся для обсуждения в группах. Студенты находят подходящие ключевые слова, реорганизуют изученный словарный запас и проводят самостоятельные мозговые штурмы, чтобы составить новые слова с помощью ассоциативных образов в памяти на интеллект-картах. Показывая учащимся ментальные карты, преподаватель просит их подумать о том, можно ли интегрировать их с другими английскими словами, которые имеют сходные или родственные значения или формы, чтобы развить у них понимание словарных ассоциаций и попрактиковаться в самостоятельном использовании интеллект-карт для самообучения.

– заполнение пробелов выбранными словами. Учащимся демонстрируются ментальные карты словарного запаса, и в ходе обсуждения они должны определить соответствующие значения или классификационные признаки ключевых слов и ассоциативных словосочетаний, а также выбрать правильные слова, чтобы заполнить пробелы и дополнить интеллект-карты. Это упражнение направлено на то, чтобы развить у учащихся способность анализировать и запоминать словарный запас с помощью интеллект-карт, а также улучшить их способность к самостоятельному обучению. После занятий группе задают внеклассные задания по интеллект-картам. Они используют программное обеспечение для изучения словарного запаса на своих мобильных телефонах, чтобы запоминать лексику и самостоятельно составлять словарные интеллект-карты, способствуя обучению ментальному картированию.

Стратегия запоминания интеллект-карт может повысить эффективность запоминания словарного запаса, особенно в отношении долговременной памяти, так как сочетание ментального картирования и изучения английского языка открывает новые горизонты для учащихся, облегчив сложную задачу запоминания словоформ и помогает легко понимать значения слов. Внедряя технологию интеллект-карт на занятиях по английскому языку, студенты могут преобразовывать текстовые описания в визуальные изображения, что позволит им легче улавливать и понимать детали урока [2; 3].

Преимущества интеллект-карт:

– составление интеллект-карт стимулирует воображение и ассоциативные способности. При запоминании новых слов учащиеся стремятся создавать ассоциации и подбирать синонимы и родственные слова, что является сложным процессом, требующим больших усилий. Это активизирует их словарный запас, а также их ранее приобретенные знания и опыт, так как чем глубже уровень обработки информации, тем больше вероятность сохранения ее в долговременной памяти.

− процесс составления интеллект-карты − это процесс глубокой обработки словоформ и значений, который еще больше укрепляет понимание словарного запаса и способствует развитию долговременной памяти.

− интеллект-карты снижают когнитивную нагрузку. Теория когнитивной нагрузки указывает на то, что большой объем информации хранится в долговременной памяти в виде когнитивных схем. Однако, нагрузка на рабочую память ограничена, и одновременно можно обрабатывать лишь небольшой объем информации. Перегрузка может затруднить обучение.

После обучения работе с интеллект-карт студенты смогут овладеть определенными стратегиями составления интеллект-карт и постепенно применять их самостоятельно. При запоминании новых слов учащиеся смогут анализировать словоформы и понимать значения, а также смогут применить эту способность самостоятельно. Таким образом, (1) применение технологии интеллект-карт при обучении английскому языку может способствовать развитию как краткосрочной, так и долгосрочной памяти, и ее влияние на долгосрочную память более значительно; (2) составление ментальных карт лучше влияет на значения слов, чем на их формы; (3) обучение составлению интеллект-карт положительно влияет на самостоятельное изучение английского языка; (4) индивидуальные языковые способности и стиль мышления оказывают влияние на применение технологии интеллект-карт.

Все эти аргументы доказывают, что интеллект-карты полезны для повышения эффективности обучения лексике на английском языке. Использование данной технология в процесс изучения лексики укрепляет словарную память, что помогает учащимся объединять новые слова со старыми, выстраивая систему запоминания в соответствии с определенным логическим мышлением. В нем подчеркиваются вертикальные и горизонтальные смысловые связи лексики, что позволяет учащимся более полно и связно овладевать словарным запасом. Применение интеллект-карт может эффективно улучшить когнитивные способности и модели мышления учащихся, способствовать пониманию и запоминанию их словарного запаса, помочь им в полной мере проявить свои творческие способности и развить способность к самообучению. Эффективное сочетание интеллект-карт и обучения лексики на английском языке может в некоторой степени уменьшить неэффективность традиционного обучения лексике, обогатить методы преподавания [1].

Библиографические ссылки

1. *Buzan, T.,* The Ultimate Book of Mind Maps. London : Thorsons, 2005. 235 p.

2. *Al-Jarf, R.* Enhancing Freshman students writing skills with a Mind Mapping software // Central and Eastern European Online Library (C.E.E.O.L.).2009. №1. P. 375–382.

3. Horton, Phillip B. An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool / Phillip B Horton [et al.] // Science Education. 1993. Vol. 77, iss. 1, 1993. P. 95–111.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ACTIONBOUND В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

Е. Г. Устименко[1)], **Л. А. Кистрина**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, evoshhilo@mail.ru*

В статье рассматривается применение мобильного приложения Actionbound на занятии по английскому языку на тему “Pharmacology”. Описаны разделы разработанного занятия в данном приложении. Выявлено, что использование мобильного приложения Actionbound стимулирует студентов к изучению иностранного языка, способствует более динамичному ходу занятия, помогает заинтересовать студентов предметом.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии; мобильное приложение; иностранный язык; баунд.

USING THE MOBILE APPLICATION ACTIONBOUND IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING

E. G. Ustimenko[1)], **L. A. Kistrina**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, evoshhilo@mail.ru*

The article considers the use of the Actionbound mobile application in an English lesson on the topic of “Pharmacology”. The sections of the lesson developed in this application are described. It has been found that the use of the Actionbound mobile application stimulates students to study a foreign language, contributes to a more dynamic course of the lesson, and helps to interest students in the subject.

Keywords: information and communication technologies; mobile application; foreign language; bound.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-448-452

Изучение иностранного языка – процесс сложный, который постоянно развивается и совершенствуется. Появляются новые методы преподавания, принципы и особенности организации учебного процесса, которые влияют на все этапы изучения иностранного языка. Но какими бы ни были эти нововведения, все они призваны служить одной цели – повышению результативности в получении знаний, которая достигается, в том числе наглядностью, динамичностью и соответствию времени.

Современное образование требует инновационных и гибких подходов. Традиционные методы, которые ориентированы на пассивное усвоение знаний, уже не соответствуют сегодняшним реалиям. В современной педагогике широко используются интерактивные методы, способствующие формированию коммуникативных, социальных и творческих навыков, что делает обучение практическим и личностно ориентированным. Интерактивные технологии делают процесс обучения более разнообразным и интересны, что в значительной степени повышает эффективность и усиливает мотивацию студентов.

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) направлены на развитие умений эффективно решать задачи, анализировать полученную информацию и применять ее в реальной жизни. Это обеспечивает учащимся навыки самостоятельного принятия решений, поиска альтернативных путей решения проблем и формирования собственного мнения [1].

А если рассматривать психолого-педагогический аспект интерактивных технологий, то интерактивные методы предусматривают активное взаимодействие участников учебного процесса, создавая благоприятный психологический климат. Преподаватель является модератором, мотивируя учащихся и поддерживая их самостоятельность. Эти методы стимулируют критическое мышление, креативность и уверенность в себе. Они отвечают эмоциональным и когнитивным потребностям учащихся, обеспечивая разнообразие деятельности и активное обучение. Кроме того, интерактивное обучение развивает коммуникативные умения, эмпатию и толерантность, создавая основу для гармоничного личностного развития и готовности к непрерывному обучению.

С точки зрения психологии, интерактивные технологии удовлетворяют потребности учащихся в общении и самовыражении. Взаимодействие во время групповых или парных задач способствует формированию поддержки, взаимоуважения и социальных навыков. Учащиеся учатся сотрудничать, разрешать конфликты и учитывать мнения других.

Применение ИКТ и таких аспектов, как компьютерные программы, мобильные приложения является инструментом для изучения иностранного языка и, следовательно, формирует профессиональную компетентность студентов [2].

В данной работе рассматривается квест (Bound) на тему “Pharmacology”, разработанный для студентов 2 курса специальностей «Медико-биологическе дело», «Экология» МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. Цель этого баунда – углубить и систематизировать знания, а также закрепить имеющиеся знания по теме «Pharmacology».

Подробно опишем, каким образом создается такого рода квест. Для того чтобы создать баунд на любую тему, преподавателю необходимо зайти на сайт https://en.actionbound.com/ и зарегистрироваться. Далее преподаватель устанавливает определенные критерии в квесте, например, количество участников, фиксированное / не фиксированное время прохождения квеста, язык (немецкий, английский) и др., а затем приступает к составлению заданий [3]. После того как квест готов, преподаватель высылает студентам QR-код. Отсканировав этот код, студенты выполняют задания на своих смартфонах, предварительно установив приложение Actionbound для Android или IOS. На рисунке 1 представлен QR-код для выполнения заданий квеста на тему “Pharmacology”.

Рис. 1. Квест на тему “Pharmacology”

Перейдем к рассмотрению заданий, содержащихся в данном баунде. В разделе «Информация» (Information) формулируется приветствие, а так же тема квеста (рис. 2). Кроме того, здесь могут быть отражены некоторые правила, например, время прохождения, количество штрафных баллов за неправильный ответ и др.

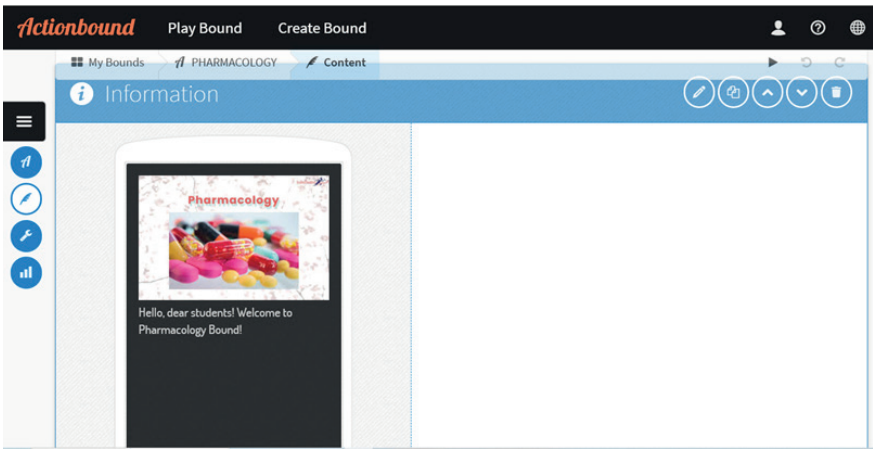


Рис. 2. Раздел «Информация»

В разделе «Миссия» (Mission) предлагается открытое задание, в котором студенты реализуют свою креативность. Ответ на такое задание можно напечатать, прикрепить фото, видео либо записать. Одним из примеров задания может быть следующее: прочитайте текст и вставьте пропуски, ответы дайте с помощью аудиозаписи (рис. 3).

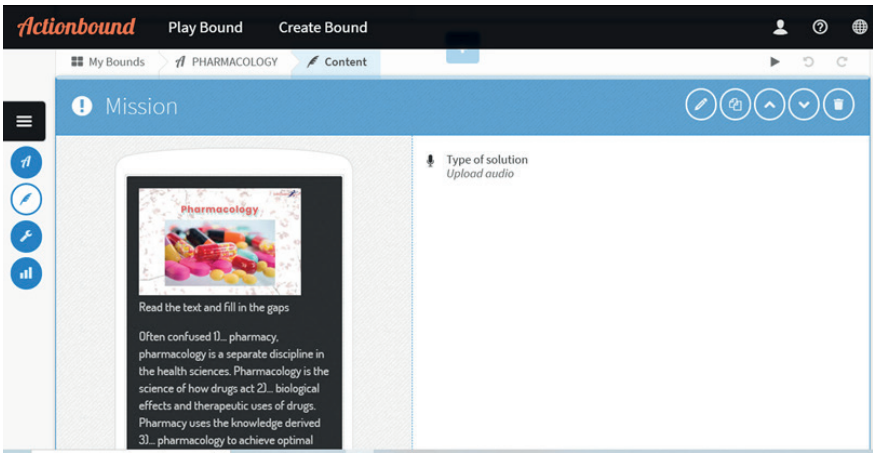


Рис. 3. Раздел «Миссия»

В данном разделе студент также может просмотреть видео по теме, прослушать тот момент, который был не понятен еще раз, сделать паузу, после чего выполнить задания по просмотренному материалу, например, ответить на вопрос, используя аудиозапись (рис. 4).

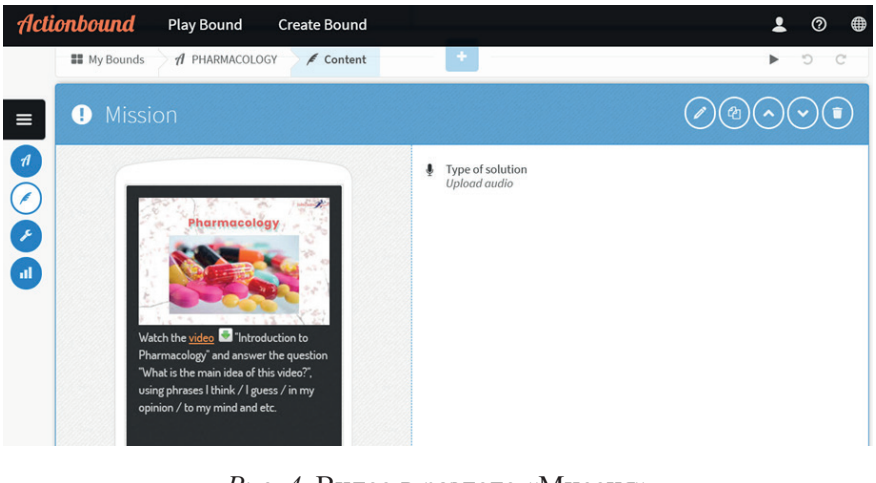


Рис. 4. Видео в разделе «Миссия»

В следующем разделе «Викторина» (Quiz) студенту предлагаются задания с возможностью выбора ответа, при этом начисляются баллы за правильный ответ и отнимаются баллы за неправильный вариант ответа (количество бонусных и штрафных баллов устанавливает преподаватель при создании баунда). При выборе ответа важным является язык клавиатуры и строчная / прописная буква, например, если студент написал ответ строчной буквой с на русском языке, а преподаватель ввёл прописную С на английском языке, то ответ будет неверным. Кроме того, преподаватель может установить количество попыток, чтобы дать правильный ответ. Пример задания в разделе «Викторина» представлен на рисунке 5.

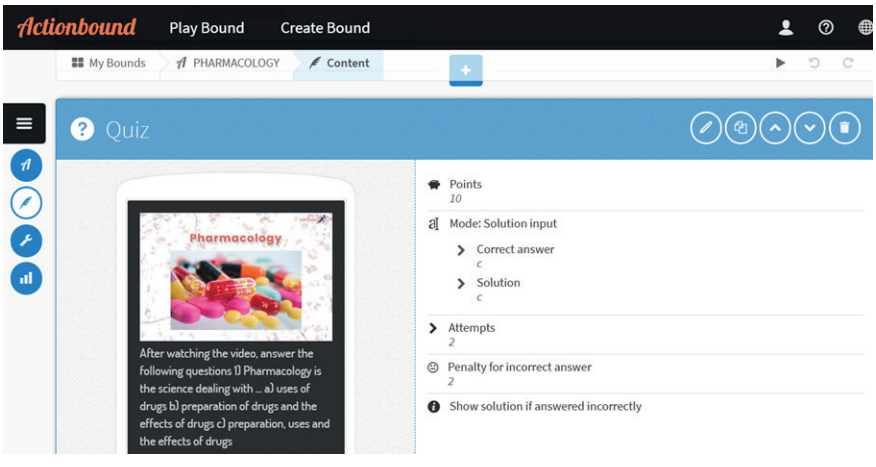


Рис. 5. Раздел «Викторина»

После того, как студенты прошли квест, в разделе «Результаты» (Results) можно увидеть и проанализировать результаты обучающихся. В данном разделе содержится информация о количестве участников, времени, когда проходили баунд, среднем количестве времени, затраченном на выполнение заданий, среднем балле. Кроме того, можно получить ранжирование таких показателей, как общий рейтинг баунда, разнообразие, сложность, информативность и др. (рис. 6).

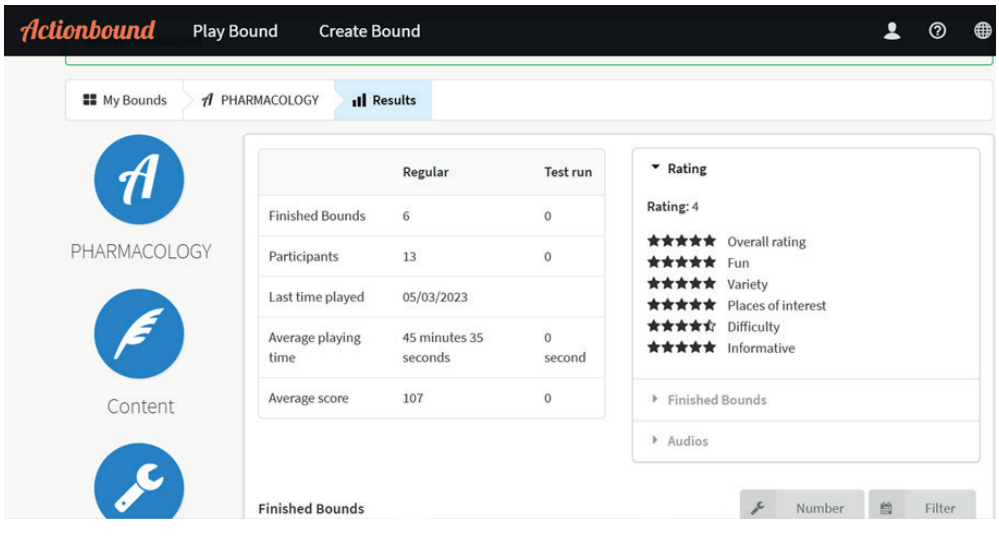


Рис. 6. Раздел «Результаты»

В данном разделе можно посмотреть ответы студентов, а также проанализировать их ошибки, прослушать аудио, которые они записывали при выполнении заданий. Имеется список каждой команды или участника, время начала прохождения квеста, затраченное время, а также количество баллов, на основании которых выявляется победитель баунда (рис. 7).

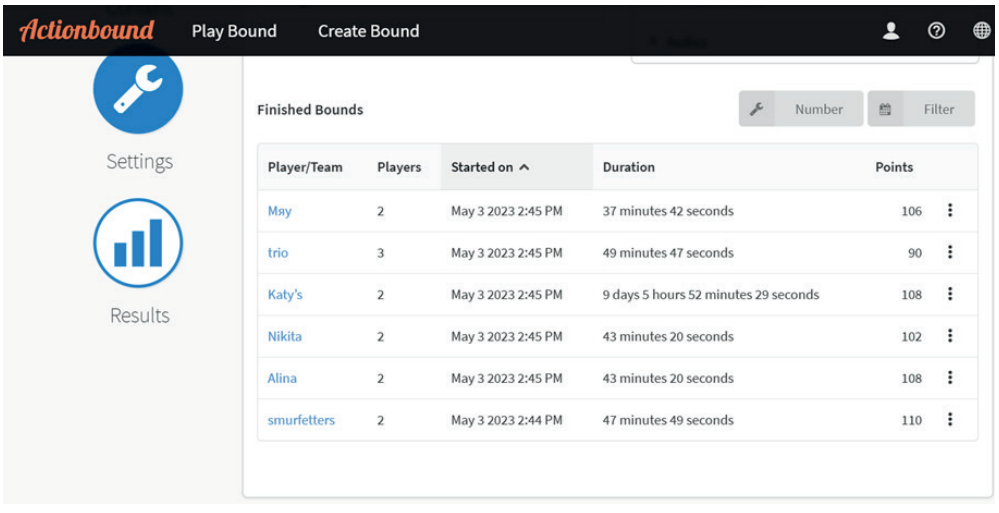


Рис. 7. Результаты участников баунда “Pharmacology”

На примере баунда “Pharmacology” показаны возможности мобильного приложения Actionbound для создания занятий на различные темы. Игровые, соревновательные формы на занятиях по иностранному языку, носящие как развлекательный, так и обучающий характер, вызывают интерес у студентов к изучению иностранного языка.

Таким образом, применение современных ИКТ, к которым относятся и мобильные приложения, способствует повышению эффективности проведения занятия по иностранному языку, помогает заинтересовать студентов учебным предметом, мотивирует студентов к изучению иностранного языка в такой яркой и наглядной форме.

Библиографические ссылки

1. *Дубских А. И.* Интерактивные технологии в процессе обучения иностранному языку // Вопросы лингводидактики и межкультурной коммуникации в контексте современных исследований: сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции. отв. ред. Н.В. Кормилина, Н.Ю. Шугаева. Чебоксары, 2019. С. 167–171.

2. *Кисель О. В., Зеркина Н. Н., Босик Г. А.* Применение ИКТ при обучении различным аспектам иностранного языка / Проблемы современного педагогического образования. 2020. № 68–1. URL: https://cyberleninka/ru/article/n/primenenie-ikt-pri-obuchenii-razlichnym-aspektam-inostrannogo-yazyka (дата обращения: 01.02.2025).

3. Инструкция по использованию Actionbound [Электронный ресурс]. URL: https://content.actionbound.com/upload/Actionbound-EDU-GUIDE.pdf (дата обращения: 03.02.2025).

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕПОДАВАНИЯ РУССКОГО ЯЗЫКА КАК ИНОСТРАННОГО

М. О. Филиппович[1)], **Е. А. Полякова**[1)]

[1)] *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kdo@iseu.by*

В статье рассматриваются возможности и перспективы цифровизации процесса обучения, использования интерактивных методов в обучении, представлен цифровой инструментарий для повышения качества преподавания русского языка как иностранного, основанный на практическом опыте работы со слушателями подготовительных курсов

Ключевые слова: интерактивное обучение; цифровизация процесса обучения; информационная среда; интернет-ресурсы; цифровой инструментарий.

THE USE OF DIGITAL TOOLS TO SUPPORT TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE

M. Filipovich[1)], **E. Polyakova**[1)]

[1)] *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kdo@ iseu.by*

The article considers the opportunities and prospects for digitalization of the educational process and the use of interactive teaching methods. The authors suggest a set of digital tools that enable efficiency in teaching Russian as a foreign language, based on their experience of working with preparatory course students.

Keywords: interactive learning; digitalization of the educational process; information environment; Internet resources; digital tools.

https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-453-457

Внедрение цифровых интерактивных форм обучения в процесс изучения иностранных языков является одним из перспективных направлений подготовки современного студента. При этом термин «интерактивное обучение» не нов, но понимается по-разному, поскольку сама идея подобного обучения возникла еще в середине 1990-х годов с появлением первого веб-браузера и началом развития сети Интернет. Ряд специалистов трактует это понятие как обучение с использованием компьютерных сетей и ресурсов Интернета. Вполне допустимо и более широкое толкование: это обучение через опыт, основанное на взаимодействии с предметной областью, с педагогом (преподавателем, тьютором), с другими участниками. Это способность взаимодействовать или находиться в режиме диалога с кем-либо (человеком) или чем-либо (например, компьютером) [1].

В Республике Беларусь в последние годы активно реализуется Концепция цифровой трансформации процессов в системе образования на 2019-2025 годы, определяющая основные цели, задачи, направления и границы цифровой трансформации процессов в системе образования страны до 2025 года.

Согласно Концепции, цифровая трансформация процессов в системе образования направлена на развитие и модернизацию информационно-коммуникационной инфраструктуры системы образования; формирование современного электронного образовательного кон-

тента и автоматизацию процессов управления ими. В республике создана и функционирует отраслевая техническая инфраструктура системы образования. Учреждения образования всех уровней обеспечены средствами информационных технологий (компьютеры, средства мультимедиа и проекционное оборудование, системное и прикладное программное обеспечение). Также в образовательном процессе есть возможность использовать интернет-услуги и интернет-сервисы [2].

Простыми словами, под цифровизацией процесса обучения подразумевается использование приложений, программ и других цифровых средств обучения в школах, вузах, на дистанционных курсах. Например, когда учащиеся выполняют задания не в тетради, а с помощью платформы в интернете. Не следует ставить знак «равно» между цифровым и дистанционным обучением, это разные понятия. Последнее не всегда предполагает использование разнообразных цифровых инструментов: например, еще 10–15 лет назад материалы могли отправлять почтой, а цифровые технологии, в свою очередь, используют независимо от формата обучения.

В современном мире Интернет, компьютер и телефон стали необъемлемой частью нашей жизни. Бессмысленно отрицать, что колоссальное количество времени сегодняшний студент проводит в сети: молодые люди 17-30 лет родились и выросли уже в эпоху повсеместного распространения глобальной сети, мессенджеров и всевозможных развлекательных интернет-платформ, которые ежесекундно конкурируют за внимание со стороны зрителя. «Клиповость» мышления, преобладание визуализации над абстрактностью восприятия, общедоступность огромного количества разнообразной информации ставят перед современной образовательной системой новые задачи. Сегодня преподавателю необходимо научиться грамотно внедрять интернет-ресурсы в процесс обучения: отбирать и использовать доступный контент, а главное – помочь студенту находить нужную информацию. Но как же самому преподавателю не потеряться в обилии информации, сайтов и платформ и сделать работу с ними интерактивной, занимательной и полезной?

В данной статье мы предлагаем цифровой инструментарий для преподавателей русского языка как иностранного (далее – РКИ), под которым следует понимать подборку зарекомендовавших себя на практике общепризнанных интернет-ресурсов, которые смогут облегчить и разнообразить работу со студентами при освоении иностранного языка (в нашем случае, русского). Отметим, что многие ресурсы можно использовать не только при обучении другим дисциплинам (они универсальны), однако в представленной подборке есть и узкоспециальные языковые сайты.

Для удобства и систематизации разделим данный цифровой инструментарий на 3 большие группы:

1) интернет-ресурсы по русскому языку;

2) электронные ресурсы по русскому языку для иностранцев;

3) ресурсы для профессионального развития преподавателя РКИ.

К **первой группе** относятся сайты, которые помогут любому пользователю снять возникающие вопросы русской орфографии, грамматики, сочетаемости слов, найти пример и толкование слова и/или выражения, подобрать текст нужной тематики. Это эталонные сайты, где представлена выверенная информация, зачастую с объяснением и комментарием:

– https://gramota.ru (справочно-информационный интернет-портал, адресованный всем, кто знает, изучает или преподает русский язык),

– https://academic.ru (интернет-сервис для поиска информации по базе словарей, энциклопедий, книжных магазинов и фильмов),

– https://kartaslov.ru (онлайн словарь-тезаурус с возможностью поиска ассоциаций, синонимов, контекстных связей и примеров предложений к словам и выражениям русского языка),

– https://ruscorpora.ru (доступный для поиска электронный онлайн-корпус русскоязычных текстов).

Задача преподавателя, при необходимости, познакомить студентов с данными онлайн-ресурсами, научить использовать в учебе и повседневной жизни, и, конечно, не пренебрегать самому.

Вторая группа ресурсов нацелена уже непосредственно на студента-иностранца, осваивающего русский язык, здесь больше интерактивно-образовательной информации, заданий на отработку выученного на занятии, однако работа с этими платформами требует от преподавателя дополнительной подготовки (создания на их базе своего личного контента, направленного на определенный лексический или грамматический материал) Целесообразнее использовать данные ресурсы на этапе закрепления и повторения во внеурочное время, для облегчения запоминания новой лексики и словоформ или в помощь пропустившим занятия студентам:

– https://www.liveworksheets.com (онлайн-конструктор интерактивных рабочих листов на любом языке, к тому на сайте же есть большое количество уже готовых материалов различного уровня сложности);

– https://learningapps.org (бесплатный онлайн-сервис, где можно создавать собственные интерактивные задания, редактировать уже опубликованные и выполнять чужие, имеется поддержка видео, аудио и даже озвучка текста);

– https://wordwall.net/ru (сервис-конструктор с большой коллекцией шаблонов для дистанционных и смешанных занятий, от кроссвордов и викторин до флеш-карточек, заполнения пробелов и заданий типа «Найди пару», здесь активное сообщество пользователей, которыми была создана целая библиотека готовых упражнений по разным предметам);

– http://www.lrwi.ru / *Сайт энтузиастов РКИ* (открытая экспериментальная площадка для тех, кто преподает или изучает русский язык как иностранный, тут можно создать свой интерактивный обучающий продукт или использовать уже готовый вариант, главный интерес вызывают аудиоварианты текстов популярных учебников для чтения по РКИ (диалоги озвучены по ролям), а также подборка коротких видео по тематическим группам, например, «Здоровье», «Праздники», «Режим дня», с привязкой к определенной грамматической теме);

– https://www.youtube.com (глобальный международный онлайн-сервис, который позволяет пользователям загружать, просматривать и обмениваться различным видео-контентом).

Остановимся немного подробнее на платформе https://www.youtube.com и как её можно использовать в помощь преподавателю РКИ и студенту-иностранцу. Здесь размещено огромное количество видеоматериалов, поэтому рассмотрим несколько давно и хорошо зарекомендовавших себя каналов, которые активно используются в работе со слушателями подготовительных курсов на регулярной основе.

На ютуб-канале *О русском по-русски* (https://www.youtube.com/@orusskomporusski) можно найти огромное количество доступного контента, грамотно систематизированного в плей-листы (от русского алфавита до использования пассивных и активных конструкций). Тут присутствуют и видео лингвокультурологической направленности (русская история, праздники, культура), и видео для отработки отдельного вида речевой деятельности (задания для аудирования, эссе и диктантов, «разговорный клуб»). Уроки построены по типу небольшой наглядной лекции у доски и обязательного практического задания. Подача информации исключительно на русском языке (без языка-посредника), поэтому на студентов, уже освоивших РКИ минимум на уровне А1. Следует отметить, что канал был создан при участии преподавателей Государственного института русского языка имени А. С. Пушкина и имеет большую многонациональную аудиторию.

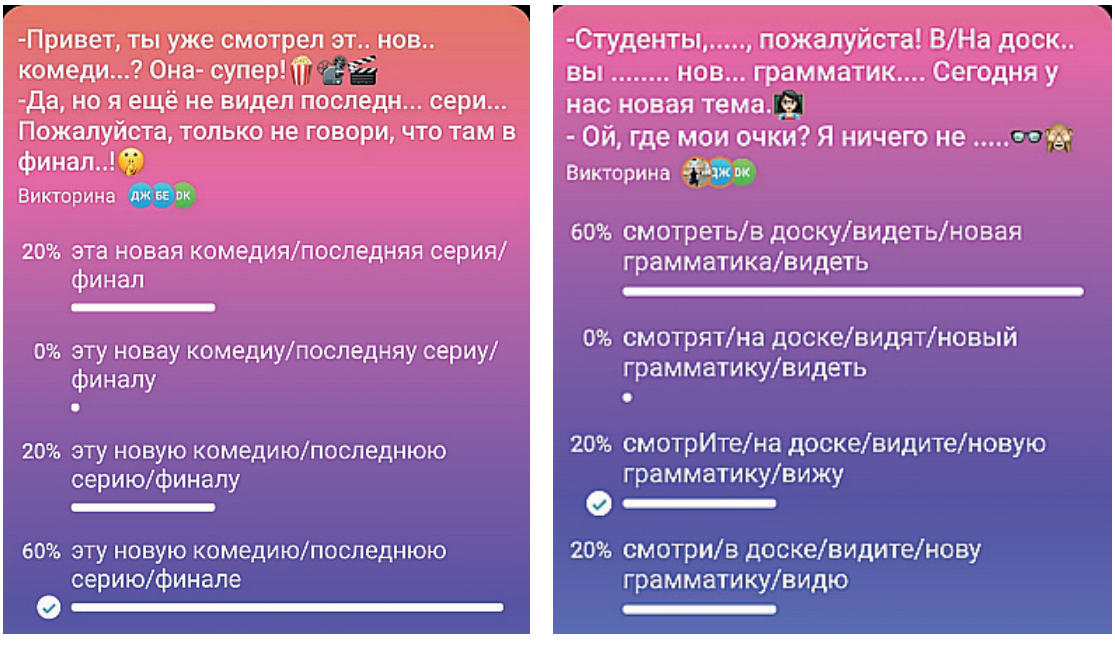
Ютуб-канал *Amazing Russian* (https://www.youtube.com/@AmazingRussian/featured) уже больше нацелен на англоязычную аудиторию, студентов дальнего зарубежья. Здесь также понятный интерфейс, отличная систематизация по темам и разделам (есть подразделение контента по уровню владения языком). Присутствуют как исключительно теоретические видео (но всегда очень яркие и наглядные), так и уроки, направленные на активизацию выхода в речь (имитация диалогов в кафе, на улице, телефонных разговоров и т.п.).

Следует отметить ютуб-канал *Твои сибирские каникулы*. Этот проект был создан студентами и преподавателями Сибирского федерального университета (город Красноярск, РФ), нацелен на испаноговорящих студентов, однако на канале много видео живого общения на русском языке. Короткие видеоролики поделены по лексико-грамматическим темам (приветствие, мой день, покупки, в деканате), весьма интересны для тренировки и понимания обращенной речи в условиях, максимально приближенных к реальности.

Ютуб-контент, связанный с изучением РКИ, огромен, а в силу своей доступности и всеобщей распространенности, прост в использовании. Студенту достаточно пройти по ссылке, нет необходимости в дополнительной регистрации или загрузке приложения. Кроме специализированных языковых каналов, можно разнообразить занятия просмотром и анализом музыкальных клипов и короткометражных фильмов на русском языке. Такая работа всегда получает эмоциональный отклик у аудитории, так как максимально погружает студентов в языковую среду, а фильмы морально-этической или философской направленности легко станут основой для проблемной дискуссии на уроке.

Использование *онлайн-мессенджеров* – это, вероятно, самый простой и доступный способ разнообразить занятия по РКИ. Практически все преподаватели сегодня состоят в сообществах (группах) со студентами в мессенджерах (Viber, Telegram, WatsApp). Данные приложения помогают не только оперативно передавать актуальную информацию и организовывать учебный процесс, но и имеют большой интерактивный потенциал.

Культура общения в мессенджерах сегодня широко развита, поэтому студенты уже хорошо знакомы с интерфейсом приложения, у них не возникает проблем с подключением, регистрацией. Так, например, с помощью функции опроса (в режиме викторины) в группе Telegram можно создавать неограниченное количество заданий с вариантами ответа, посредством аудиосообщений можно тренировать восприятие на слух, описывать картины и фото, создавать собственные тексты, «наговаривать» аудиосообщения, слушать и анализировать живую русскую речь. Практика показывает, что учащиеся позитивно реагируют на подобные интерактивы, так как получают моментальный ответ, получают результат «здесь и сейчас». В качестве иллюстрации на *рисунке* ниже представлен скриншот чата учебной группы в Telegram, изучающих русский язык на уровне А1.



Фрагменты интерактивной викторины на закрепление глаголов «смотреть и видеть», предложного и винительного падежей существительных

К **третьей группе** цифрового инструментария отнесем ресурсы для профессионального развития преподавателя РКИ. Здесь также следует упомянуть несколько ютуб-каналов:

– youtube.com/@ZlatoustRussian (официальный канал учебно-издательского центра «Златоуст», одного из самых известных издательств в сфере преподавания РКИ, здесь публикуется большое количество мастер-классов и методических комментариев к пособиям);

– https://www.youtube.com/@LearnRussianStanislavAcademy (автор знаменитого учебника по РКИ «Поехали!» Станислав Чернышов в занимательном формате дает методические рекомендации и объясняет сложные моменты русской грамматики, пунктуации и фразеологии);

– https://www.youtube.com/@MgurussianMGU (официальный канал учебного центра русского языка при Московском государственном университете, нацелен на будущих и действующих преподавателей РКИ, канал публикует мастер-классы с известными методистами и психологами, вебинары и фрагменты занятий).

Необходимо отметить еще один качественный и удобный интернет-ресурс в помощь преподавателю языка, такой как https://textometr.ru. Текстометр помогает бесплатно определить уровень сложности текста на русском языке, рассчитать индексы удобочитаемости, узнать уровень текста по международной шкале (A1, A2 и тд.), посчитать количество слов и знаков, найти ключевые слова текста, рассчитать коэффициент лексического разнообразия текста, получить список слов из текста и рассчитать время его чтения, а также определить статистику по вхождению слов в утвержденные лексические минимумы. Данный ресурс поможет преподавателю при отборе текстов для чтения и аудирования, а также облегчит работу по созданию вспомогательного материала к ним.

Резюмируя вышеизложенное, хотелось бы отметить, что грамотно подобранные цифровые продукты действительно могут помочь преподавателю и студенту в достижении образовательных целей. В тоже время, не следует забывать, что данный тип работы мы рассматриваем как дополнительный, направленный на закрепление и систематизацию изученного с преподавателем. Использование традиционного бумажного учебника и рабочих тетрадей к ним, особенно на начальном этапе, является обязательным, воздействовать на сенсорные системы обучающегося необходимо со всех возможных сторон, не забывая про письмо от руки. И конечно, интернет-ресурсы не способны заменить живого человеческого общения, так как коммуникация является основной функцией и финальной целью любой речевой деятельности.

Библиографические ссылки

1. *Азимов Э. Г., Щукин А. Н.* Словарь методических терминов : теория и практика преподавания языков / Э.Г. Азимов. СПб. : Златоуст, 1999. 472 с.

2. Концепция цифровой трансформации процессов в системе образования Республики Беларусь на 2019-2025 годы [Электронный ресурс] // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2018/november/31502/. (дата обращения: 26.02.2025).

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Апанович А. В., Лях Ю. Г., Якимович К. А., Дайнеко К. А. Диагностика паразитоценозов охотничьих видов водоплавающей птицы в Беларуси 5

Бусько Е. Г., Сергеева Я. А. Медико-фармакологическая, антиоксидантная и иммуномодулирующая оценка Эхинацеи пурпурной 10

Hu wentao, Aleh Rodzkin. Application prospects of SAR technology in environmental monitoring 15

Гайдукевич О. М., Ракович В. А., Курзо Б. В., Молочко А. А., Кунцевич В. Б. Экологические состояние и перспективы использования выработанных торфяников для добычи сапропеля 20

Гайдучёнок Н. С., Гигиняк Ю. Г., Корзун Е. В. Эколого-биологическая характеристика и скорость оживления антарктических Тихоходок (*TARDIGRADE*) в эксперименте 25

Головатый С. Е. , Савченко С. В., Синицкая М. Л. Анализ содержания сульфатов и нитратов в почвах населенных пунктов Республики Беларусь 30

Горегляд А. С. , Демянчик В. Т. Регистрации полчка (*GLIS GLIS*) в искусственных гнездовьях центральной части белорусского полесья 35

Дубенок С. А., Мороз Е. А. Организация систем водоотведения в сельских населенных пунктах: проблемы и пути решения 40

Емельяненко Н. В., Родькин О. И. Санитарно-гигиеническая оценка использования осадков сточных вод для энергетических плантаций 45

Жемжуров А. М., Горбачева Н. В. Возможные способы кондиционирования эксплуатационных радиоактивных отходов Белорусской АЭС низкой активности при передаче на захоронение 49

Жешко Н. В., Корней В. В., Павлюченко А. М. Использование органического удобрения, полученного в процессе жизнедеятельности Брюхоногих моллюсков, для выращивания зеленых культур в лабораторных условиях 55

Жешко Н. В. Оценка возможности использования личинок *ZOPHOBAS MORIO* для утилизации полистирола 60

Жукова Н. В., Кукушкина О. В. Анализ состояния состояния окружающей среды в учебной и исследовательской деятельности будущих учителей химии и биологии 64

Журавков В. В., Тонконогов Б. А., Цыбулько Н. Н., Журавков Е. В. ВЕБ и ГИС технологии, как элемент системы принятия решений при оценке дозовых нагрузок и эффектов ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия 69

Zeynalova N., Keskin F., Döndü M., Demirak A. The determination of element surface water pollution in the Buyuk Menderes Basin (Turkïye) 74

Зыкина Н. Г. Перспективы использования территорий государственных природных заказников Удмуртской Республики для выделения почвенных эталонов 78

Иванов Д. М. Исследование переходных процессов в цепи дифференцирующего типа как основы элементной базы энергоэффективновной современной электроники 83

Капусто В. В., Сумак Е. Н. Динамика условий увлажнения территории Беларуси 88

Кириченко Л. А., Волчек А. А. Экологическое состояние водоемов г. Кобрина в 2021 г. 93

Копиця В. Н., Другаков Е. А. Влияние посадок быстрорастущих древесных растений на уровень грунтовых вод и состояние почвы 99

Копиця В. Н., Юцко Н. А., Алейников В. Л., Петрашкевич Д. И. Загрязнение грунтовых и поверхностных вод нитратами 103

Кравченя Н. И., Чернецкая А. Г., Стригельская Н. П. Пылефильтрующая способность древесных насаждений на примере партизанского проспекта г. Минска 108

Красовский В. И., Бохан А. А. Перспективы использования малых ГЭС на реках Республики Беларусь 113

Красовский В. И., Васин А. В., Мелеховец М. В. Твёрдость конструкционных материалов 117

Красовский В. И., Мидянка Н. Ю., Филичкина А. А. Влияние кристаллического состояния тел на прочность 122

Красовский В. И., Филичкина А. А., Мидянка Н. Ю. Конструкционный материал цирконий 127

Крюков Е. А., Заяц В. С. Влияние элиситора из трутовика лакированного (*GANODERMA LUCIDUM* (curt.)) на ризогенез перца овощного (*CAPSICUM ANNUUM L.*) 131

Кулагина Л. В., Зыкова И. Д., Кубик Н. Р. К вопросу ликвидации последствий разливов нефтепродуктов на водных объектах 136

Кулагина Т. А., Кириллова И. В., Гурина Р. В. Уменьшение количества органосодержащих отходов за счет изменения состава топливных брикетов 139

Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Сорокин А. И. Осадки озер как индикаторы состояния окружающей среды 143

Левченко К. В., Шпадарук Е. М., Смолякова Р. М. Оценка качества почв на естественных и урбанизированных территориях в городе Гомель с помощью метода биотестирования 148

Леонкова Д. С., Храповицкая М. С. Экологичные методы дубления кожи на основе растительного и синтетического сырья 153

Лозинская О. В., Стельмачёнок Д. А. Полиморфизм «седого» пятна листовой пластинки клевера ползучего – как метод оценки стабильности развития 156

Мелешко А. А., Кухарчик Т. И., Синицкая М. Л. Изучение загрязнения прибрежных зон макропластиком в местах любительской рыбалки (на примере водоемов г. Минска) 161

Налетов И. В., Бойко К. А. Применение ланолина с различными концентрациями триптофана на апикальную меристему растений при возделывании многолетних насаждений 165

Налетов И. В., Заяц В. С. Симбиоз азотфиксирующих бактерий и растений салата листового (*LACTUCA SATIVA L.*) 169

Наркевич И. П., Макей Я. М. Меры по адаптации к изменениям климата для сохранения биоразнообразия 173

Нилова О. В., Мартынова Е. А. Видовой состав древесных насаждений сквера Э. Ожешко города Гродно 177

Пашинский В. А., Бондарчук О. В. Модель процесса обработки пивоваренного ячменя для повышения экстрактивности солода переменным неоднородным электрическим полем 181

Пашинский В. А. Технико-экономические и экологические аспекты сжигания биомассы 187

Пятакова Т. И., Бойко К. А., Налетов И. В. Биоутилизация органических остатков с помощью микроорганизмов 193

Ракова М. Д., Пятакова Т. И., Налётов И. В. Влияние почвенных микроорганизмов на скорость и эффективность прорастания семян ценных сельскохозяйственных растений 198

Ратникова О. Н., Борш А. Т. Зонирование территории вредного воздействия на среду обитания вследствие добычи торфа 203

Рогова Н. С., Искужанов Д. Ф., Худобин Г. Е. Влияние сезонных условий на загрязнение тяжелыми металлами приземного слоя г. Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области 208

Родькин О. И., Зеленухо Е. В. Использование композитного топлива как фактор снижения нагрузки на окружающую среду 212

Рыжакова Н. К., Тайлашева К. А. Загрязнение приземного слоя атмосферы токсичными металлами в шахтерских городах Кузбасса 216

Савастенко Н. А., Люшкевич В. А., Филатова И. И., Шимбалева М. П., Маскевич С. А. Влияние плазменной обработки на оптические свойства фотокатализаторов на основе оксида цинка (ZnO) для удаления органических примесей в водных средах в фотокаталитических процессах интенсивного окисления 221

Савастенко Н. А., Невар Е. А., Буцень А. В., Шимбалева М. П., ФедоренчикЕ. В., Тарасенко Н. В. Экологически безопасный синтез медьсодержащих наночастиц методом импульсной лазерной абляции в жидкости 226

Секирина А. П., Ровенская И. А. Очистка сточных вод в естественных условиях 231

Сосновская Н. Е., Коврик И. И. Возможность использования гуминовых кислот осокового торфа для очистки медь–, цинк– и никельсодержащих растворов 235

Стригельская Н. П., Чернецкая А. Г., Гиль М. Д., Кузьменко Д. Ю. Признаки филлосферы Липы мелколистной (*TILIA CORDATA MILL*) как структуры пассивного иммунитета к эпифитотийным заболеваниям и вредителям в скверах г. Минска 240

Тюлькова Е. Г., Савченко Г. Е., Кабашникова Л. Ф. Инфрмативность исследований фотосинтетического аппарата растений при мониторинге действия углеводородов техногенного происхождения 245

Урошевич Е., Станкович Д., Крстич Б., Родькин О. Оценка эффективности выращивания энергетической ивы на загрязненных тяжелыми металлами землях 251

Федосеев О. Н., Морозов Д. А. Влияние возраста и вида форофита на адекватность модели зависимости площади проективного покрытия лишайниками от факторов среды 255

Хох А. Н. Морфологические отклонения в строении пыльцевых зерен сосны обыкновенной в условиях антропогенной нагрузки 261

Хох А. Н. Климатические факторы в региональных STD-хронологиях по ширине поздней древесины у сосняков мшистых в беларуси 266

Хурнова Л. М., Елисеев В. В. Расчет максимального уровня звука ручным способом и с помощью программы «Эколог-Шум» на территории, прилегающей к транспортной магистрали 271

Цыбулько Н. Н., Жукова И. И., Алексейчик Е. В. Оценка степени эродированности почвенног о покрова Беларуси 276

Шванц М. О., Пучкова Т. А. Определение устойчивости выделенных из водоёма изолятов бактерий к ионам тяжёлых металлов 281

Шейко Я. И., Слуквин А. М., Кулешевич Я. П. Морфометрические и молекулярно-генетические исследования популяций Золотого карася в озерах споровкое и жеринское 285

Шулья Ю. М., Пашинский В. А. Математическое моделирование биоэнергетических терминалов: современные подходы и практическая реализация 290

Юницкий А. Э., Першай Н. С., Арнаут С. А. Электрогидроударные технологии для получения водоугольного топлива 293

Секция 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

Бодяков К. В., Иванюкович В. А., Кот Е. В., Тавгень И. А., Шилов М. Д. Android-приложение для анализа кислотно-щелочного состояния организма 298

Карпей А. Л., Мельгуй А. С. Информационные технологии в изучении белорусского языка 304

Карпович Н. В., Смирнова Т. В. Эволюционная модель роста деревьев при взаимодействии с окружающей средой 308

Kunhao Z., Shalkevich P. K. Impact of climate change on ecosystem services and biodiversity 313

Лаптёнок С. А., Родькин О. И., Кологривко А. А., Борботко Е. П., Лазар И. В. Комплексный подход к использованию методов восходящих и нисходящих серий, секвенциального анализа, логарифмов преобладания и приращения информации для статистической обработки медико-биологических данных 317

Лаптёнок С. А., Родькин О. И., Кологривко А. А., Радюк Д. И., Конопацкая М. С. Анализ результатов моделирования и прогнозирования динамики эколого-эпидемических процессов различными методами 322

Лаптёнок С. А., Родькин О. И., Кологривко А. А., Федоренчик Е. В., Кляусова Ю. В. Динамическое пространственное моделирование влияния отдельных геоэкологических факторов на формирование последствий техногенных чрезвычайных ситуаций 327

Лефанова И. В., Смирнова Т. В. Моделирование распространения вирусных инфекций на основе агентного подхода 332

Николаенко Е. А., Шалькевич П. К., Тавгень И. А. Иерархический подход к пространственно-временному моделированию распространения загрязняющих веществ в почвах на основе Байесовской статистики 336

Пытляк Е. Д., Шалькевич П. К., Тавгень И. А. Моделирование миграции радионуклидов в природных водных экосистемах 341

Рентюк Е. К., Коринев М. В. Возможности использования методов дистанционного зондирования земли для орнитологических исследований 345

Собянина Г. Н., Мальков С. Ю. Актуальные вопросы сохранения природно-ресурсного потенциала курортных дестинаций черноморского побережья 349

Секция 6. ФИЛОСОФСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

Аксенчик С. В., Жак А. Д., Губич Е. А., Бетлей К. И. Скандинавская ходьба как средство для улучшения физических возможностей студентов 354

Антонович О. А., Бучукова Т. В. Исследование базовых компетенций студентов-иностранцев в целях совершенствования учебного процесса 360

Гришанович Н. А., Круталевич М. М., Онищук О. Н., Сыманович П. Г. Влияние занятий пилатесом на развитие силовых способностей студентов 365

Короткевич А. В. Этический аспект экологической компетентности 369

Луцевич А. А., Малишевский В. Ф., Пушкарев Н. В., Федоренчик Е. В. Формированиие научного мышления студентов–экологов в процессе обучения физике 373

Олевская И. З., Островский В. А. Психологические последствия радиационных катастроф 378

Олевская И. З., Петренко М. С. Влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на социум 382

Олевская И. З., Шульгина К. В., Хмельницкая Д. О. Тревожность как психологический феномен 386

Онищук О. Н., Круталевич М. М., Гришанович Н. А., Сыманович П. Г., Шахлай А. М. Влияние жизненных реалий на здоровье студенческой молодежи 390

Пинаев В. Е., Ухова В. Н. Образование для устойчивого развития: как подготовить специалистов для решения проблем изменения климата 395

Пупликов С. И., Лагун Д. С. Экологические инновации и бизнес-планирование как императив «зеленой» экономики (на примере КНР и Республики Беларусь) 399

Пуцік У. С. Да пытання аб канстытуцыйным праекце акадэміка А. Д. Сахарава 403

Щипец А. И., Лисина Т. С. Современные процессы, изменяющие геологическую среду г. Могилева, в контексте стратегии устойчивого развития 408

Круглый стол 1. КАФЕДР ЮНЕСКО «АКТУАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI-ГО ВЕКА»

Любчик О. А., Каменская Е. О. Энергетические переходы: мировые тенденции развития энергетической отрасли 412

Круглый стол 2. «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ И МЕЖКУЛЬТУРНОЙ КОММУНИКАЦИИ»

Буткевич Ю. И. Формирование экологического сознания молодежи: результаты анкетирования 417

Головко Т. И. Специфика обучения туркмен английскому языку 421

Грицай Н. А., Довгулевич Н. Н. Обучение магистрантов неязыковых специальностей работе по составлению терминологического словаря по специальности 425

Никитина Л. Н., Беляева Т. В., Левданская Н. М. Использование технологии «Доска выбора» при обучении иностранному языку студентов-экологов 429

Орлова М. В., Качан И. М. Методический потенциал искусственного интеллекта на занятиях по иностранному языку 435

Талецкая Н. Н., Мишкинь И. Ф. Проблема экологизации предмета «иностранный язык» в вузе 440

Третьяк Г. В., Тюрдеева А. И. Применение технологии интеллект-карт при обучении специализированной лексике студентов неязыковых вузов 444

Устименко Е. Г., Кистрина Л. А. Использование мобильного приложения Actionbound в обучении иностранному языку 448

Филиппович М. О., Полякова Е. А. Цифровые инструменты для повышения качества преподавания русского языка как иностранного 453

На первой сторонке обложки – иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда «О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 г.)

Научное издание

САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2025:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS – 2025:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS
OF THE XXI CENTURY

Материалы
25-й Международной научной конференции

Республика Беларусь, Минск

22–23 мая 2025 г.

В двух частях

Часть 2

На русском и английском языках

В авторской редакции

Ответственные за выпуск *Н. Н. Цыбулько*, *Т. П. Верёвка-Зинович*

Компьютерная верстка *О. С. Яворской*

Подписано в печать 30.04.2025. Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 53,94. Уч.-изд. л. 45,37.
Тираж экз. Заказ .

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ А. Д. САХАРОВА
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
220070, Республика Беларусь
г. Минск, ул. Долгобродская, 23/1
http://www.iseu.bsu.by

ISBN 978-985-881-782-4

САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023