



ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECOLOGY

Издается с сентября 2017 г.
(до 2017 г. – «Экологический вестник»)
Выходит 1 раз в квартал

Published since September, 2017
(until 2017 – «Ecologicheskij Vestnik»)
Issued once a quarter

1

2019

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ПОЗНЯК С. С.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Ответственный секретарь** **ЛЫСУХО Н. А.** – кандидат технических наук, доцент; Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
E-mail: nlysukha@mail.ru
- Батян А. Н.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Герменчук М. Г.** ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Кильчевский А. В.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Коровин Ю. А.** Обнинский институт атомной энергетики – Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Обнинск, Россия.
- Ленгфельдер Э.** Радиологический институт здоровья и окружающей среды имени Отто Хуга, Мюнхен, Германия.
- Либератос Г.** Афинский технический университет, Афины, Греция.
- Логинов В. Ф.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Медведев С. В.** ГНУ «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Степанов С. А.** Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия.
- Стожаров А. Н.** Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь.
- Тарутин И. Г.** ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», Минск, Беларусь.
- Шишко Я.** Варшавский университет сельского хозяйства, Варшава, Польша.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief	MASKEVICH S. A. , Doctor of Physics and Mathematics, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: direktor@iseu.by
Deputy editor-in-chief	POZNYAK S. S. , Doctor of Agricultural Sciences, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: pazniak@iseu.by
Executive secretary	LYSUKHA N. A. , PhD (engineering), Associate Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: nlysukha@mail.ru
<i>Batyan A. N.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Hermenchuk M. G.</i>	State Scientific and Technical Institution «Center for Nuclear and Radiation Safety» of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Golubev A. P.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Golovaty S. E.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Grichik V. V.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus
<i>Dardynskaya I. V.</i>	Great Lakes Center for Occupational and Environmental Safety and Health, Chicago, USA.
<i>Zafranskaya M. M.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Kilchevsky A. V.</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Korovin Y. A.</i>	Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
<i>Lengfelder E.</i>	Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munich, Germany.
<i>Lyberatos G.</i>	Athens Technical University, Athens, Greece.
<i>Loginov V. F.</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Medvedev S. V.</i>	The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Stepanov S. A.</i>	International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
<i>Stozharov A. N.</i>	Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
<i>Tarutin I. G.</i>	N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Szyszko J.</i>	Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 81'22:502.22

ЭКОЛОГИЯ СЕМИОСФЕРЫ: ТРАДИЦИИ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ

А. А. ГИРУЦКИЙ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка,
ул. Советская, 18, 220050, г. Минск, Беларусь

Рассматривается семиосфера как концептуальное понятие семиотики, соотношение семиосферы и биосферы, семиосферы и ноосферы. Дана общая характеристика фундаментальным законам экологии как науки, их месту в универсуме знания, проявлению в семиосфере. Утверждается, что первый закон экологии «все связано со всем» проявляется в том, что основой связи «всего со всем» выступает информация, универсальным носителем которой является слово. Сделан вывод, что матрица слова как идеальная структура существует в сознании человека в виде голограммы, связанной с нейронными сетями мозга. В рамках первого закона экологии охарактеризована сущность слова как универсальной матрицы мироздания. Рассмотрены вопросы зарождения экологического подхода к семиосфере на примере взаимодействия языка и некоторых иных знаковых систем с религией. Делаются выводы о необходимости усиления экологической защиты семиосферы как части универсума мироздания, развертывания научных исследований и практических разработок в этом направлении, расширения конкретных исследований в области эколингвистики и экологии культуры.

Ключевые слова: семиосфера; семиотика; биосфера; ноосфера; экология; законы экологии; матрица слова; голограмма; матрица языка; матрица Абсолюта; экология языка; иконоборчество; экология религии.

Образец цитирования:

Гируцкий А. А. Экология семиосферы: традиции и новые подходы // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 4–17.

For citation:

Girutskij A. A. Ecology of semiosphere: tradition and new approaches. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 4–17 (in Russ.).

Автор:

Анатолий Антонович Гируцкий – доктор филологических наук, профессор, профессор, кафедры языкознания и лингводидактики.

Author:

Anatolij A. Girutskij, doctor of science (philology), full professor; professor at the department of linguistics and linguodidactics. hirutski@mail.ru

ECOLOGY OF SEMIOSPHERE: TRADITION AND NEW APPROACHES

A. A. GIRUTSKIJ^a

^aBelarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank,
18 Savieckaja Street, Minsk 220050, Belarus

The article discusses such issues as semiosphere as a conceptual notion of semiotics, the ratio of the semiosphere and the biosphere, the semiosphere and the noosphere. A general description of fundamental laws of ecology as a science, their place in the universe of knowledge and their manifestation in the semiosphere is given. In particular, it is argued that the first law of ecology «everything is connected with everything» is demonstrated in the fact that the basis of the connection of «everything is in everything» is information, the universal carrier of which is the word. It is concluded that the word matrix as an ideal structure exists in the human mind in the form of a hologram associated with the neural networks of the brain. Within the framework of the first law of ecology, the essence of the word as a universal matrix of the macrocosm is characterized. The issues of the origin of the ecological approach to the semiosphere are considered using the example of interaction of language and some other sign systems with religion. Conclusions are drawn about the necessity to improve the ecological protection of the semiosphere as part of the universe, to develop scientific research and practical studies in this direction, to expand specific research in the field of ecolinguistics and ecology of culture.

Keywords: semiosphere; semiotics; biosphere; noosphere; ecology; laws of ecology; word matrix; hologram; language matrix; matrix of the Absolute; the ecology of language; aniconism; ecology of religion.

Введение

Семиосфера как концептуальное понятие семиотики. Понятие *семиосферы* (греч. *sēmeion* – знак, признак + *sphaire* – шар) возникло из развития семиотики (иначе – семиологии) как науки о знаках и знаковых системах, семиотических идей создателей этой науки – американского философа, логика и математика Ч. Пирса [1], его последователя, американского философа Ч. Морриса [2], швейцарского лингвиста Ф. де Соссюра [3].

Общие принципы семиотики первоначально были сформулированы Ч. Пирсом и Ф. де Соссюром практически одновременно и независимо друг от друга. Эмпирической базой этих принципов явились наблюдения над естественным языком. При этом семиотика Ч. Пирса строилась как особый вариант математической логики. В отличие от него, Ф. де Соссюр пытался определить знаки и знаковые системы, которые могли бы составлять объект семиотики. В американском варианте новая наука получила название *семиотики*, а в европейском – *семиологии*. Ф. де Соссюр определил одно из главных, по его мнению, направлений семиологии: изучение естественного языка как знаковой системы, поскольку язык выступает в качестве универсальной знаковой системы, которую человек использует в коммуникации.

Определенное время семиотику понимали, прежде всего, как науку о коммуникативных системах и знаках, используемых человеком в процессе общения. Семиотические проблемы на начальном, или доктринальном, этапе развития науки (конец XIX – середина XX в.) разрабатываются главным образом гуманитарной наукой и охватывают три научные сферы: лингвистическую, логику-математическую и философскую. На втором этапе, который именуют институциональным (середина – конец XX в.), формируются различные школы семиотики, создается Международная организация семиотических исследований (IASS, 1969 г.). К моменту проведения первого Международного конгресса по семиотике (Милан, 1974 г.) формируются основные разделы семиотики: лингвосемиотика, семиотика литературы, семиотика культуры, психосемиотика, этносемиотика, социосемиотика, семиотика религии, биосемиотика и др.¹ Широкая экспансия семиотики на другие науки и культуру, иные области человеческой деятельности, широкий разброс мнений на объект семиотики поставили перед необходимостью выработки какого-то базисного концепта, объединяющего в одной научной парадигме все многообразие семиотических направлений. Такая попытка была предпринята Ю. М. Лотманом в статье «О семиосфере» [5]. Основные положения своей концепции семиосферы, уточняя и расширяя некоторые из них, Лотман реализует в ряде последующих работ, посвященных анализу конкретных семиотик – художественной литературы, театра, кино, культуры и искусства в целом.

Понятием *семиосферы* Ю. М. Лотман хотел отойти от «атомарности» подхода и стремился рассмотреть семиотику не как набор различных направлений со своими элементарными символами или

¹ Следует отметить, что представленная этапность развития семиотики в известной мере условна, поскольку истоки и корни семиотики обнаруживают уже в античности, а ее становление происходит весь хронологический период, вплоть до работ классиков (Ч. Пирс, Ч. Моррис, Ф. де Соссюр). С историей семиотических идей и характеристикой некоторых направлений семиотики институционального периода можно ознакомиться в книге Ю. С. Степанова «Семиотика» [4].

актами, но как полноценную систему. Семиосфера, по Лотману, представляет собой условие, необходимую предпосылку для осуществления коммуникаций и существования языков и их работы в семиотическом пространстве. Язык в этом контексте рассматривается как функция семиотического пространства. Все участники коммуникации изначально погружены в это пространство, которое обеспечивает работу устройства, состоящего из адресата, адресанта и связывающего их канала. Только внутри такого пространства возможен семиозис (др.-греч. σημείωσις – обозначение) – процесс, в котором оказывается «возможной реализация коммуникативных процессов и выработка новой информации» [5, с. 6].

Семиосфера и биосфера. Ю. М. Лотман признает, что термин «семиосфера» создан им по аналогии с введенными академиком В. И. Вернадским понятиями биосферы и ноосферы. Опираясь на разработанное академиком В. И. Вернадским учение о биосфере как совокупности живого вещества Земли, проявляющего себя как единый организм, ученый применяет подобный подход к понятию семиосферы. Он считает, что все семиотическое пространство можно рассматривать как «семиотический континуум, заполненный разнотипными и находящимися на разном уровне организации семиотическими образованиями» [5, с. 6]. Как биосфера первична по отношению к отдельному организму, так и семиосфера первична к любому отдельному языку или тексту. А всякий процесс означивания, осуществляемый индивидом, привязан к семиотическому универсуму. Иными словами, выделяемый В. И. Вернадским признак организованности биосферы в частях и в целом², Ю. М. Лотман распространяет на семиосферу, считая важнейшей в ней саму «большую систему», которой выступает семиосфера, а не отдельные «кирпичики» – составляющие ее языки [5, с. 7].

Другой характерный признак, который отмечает академик В. И. Вернадский в строении биосферы, – ее разнородность. Он пишет: «Чрезвычайно характерна в строении биосферы ее физико-химическая и геометрическая разнородность. Она состоит из живого вещества и вещества косного, которые на протяжении всего геологического времени резко разделены по своему генезису и по своему строению» [6, с. 247]. Ю. М. Лотман также полагает, что семиосфера включает в себя множество отдельных семиотик, отличающихся происхождением и структурой.

Биологические аналогии Лотмана, раскрывающие параллель между семиосферой и организмом, проявляются и в таком признаке семиосферы как отграниченность. У В. И. Вернадского в биосфере граница существует между живым и косным веществом. Между ними «есть, однако, непрерывная, никогда не прекращающаяся связь, которая может быть выражена как непрерывный биогенный ток атомов из живого вещества в косное вещество биосферы и обратно» [6, с. 247–248]. У Ю. М. Лотмана семиосфера тоже отграничена от окружающего ее внесемиотического пространства, выход в которое однако возможен.

Отграниченность семиосферы заключается в том, что она не может соприкасаться с иносемиотическими знаковыми единицами. Для того чтобы впустить иные единицы в семиотическое пространство, необходим «перевод» этих единиц на его внутренний язык. Этот процесс ученый называет «семиотизацией фактов». За осуществление такой трансформации отвечает граница семиосферы. Общая граница семиосферы пересекается в ней границами частных семиотических пространств. Граница сравнивается им с пленкой, мембраной клетки, которые переводят внешние раздражения на язык нервной системы. Граница у Лотмана является важнейшей функциональной и структурной частью семиотического механизма, выступая областью ускоренных семиотических процессов. С их помощью семиосфера может выходить на контакт с внешним для нее миром, иным семиотическим пространством [5, с. 7–11].

При всех аналогиях с биосферой концепция семиосферы Ю. М. Лотмана направлена, прежде всего, на коммуникативные процессы, которые реализуются в человеческом обществе. «Жизнь всякого существа, – пишет ученый, – представляет собой сложное взаимодействие с окружающей его средой. Организм, не способный реагировать на внешние воздействия и к ним приспособляться, неизбежно погиб бы. Взаимодействие с внешней средой можно представить себе как получение и дешифровку определенной информации. Человек оказывается с неизбежностью втянутым в напряженный процесс: он окружен потоками информации, жизнь посылает ему свои сигналы. Но сигналы эти останутся не услышанными, информация – непонятой и важные шансы в борьбе за выживание упущенными, если человечество не будет поспевать за все возрастающей потребностью эти потоки сигналов дешифровать и превращать в знаки, обладающие способностью коммуникации в человеческом обществе» [7, с. 17]. Фактически здесь ставится проблема безопасности человечества, связанная с пониманием им важности семиосферы в человеческой жизни и с необходимостью экологии семиотического пространства.

С развитием теории информации, успехами в изучении генетического кода как информационной системы, выявлением структурного изоморфизма генетического кода и естественного языка (Ф. Жакоб [8],

² «Организованность биосферы – организованность живого вещества – должна рассматриваться как равновесия, подвижные, все время колеблющиеся в историческом и в геологическом времени около точно выражаемого среднего», – полагал В. И. Вернадский [6, с. 247].

В. А. Ратнер [9], Т. В. Гамкрелидзе [10], Р. О. Якобсон [11], М. С. Гельфанд [12], Вяч. Вс. Иванов [13] и др.) биологическая составляющая стала одной из частей семиосферы³.

Семиосфера и ноосфера. Учение В. И. Вернадского о биосфере стало общепризнанным в современной науке. Хотя, как отмечают исследователи, экологический бум последнего времени выдвинул на первый план технологические и социально-политические аспекты этого учения, в то время как его научно-философская сущность остается в забвении. Причина этого, по их мнению, заключается в состоянии современного общественного сознания. Оно характеризуется дробностью восприятия («компьютерное мышление»), склонностью к примитивным формализациям, механистическим мировоззрением, что совершенно естественно для техногенной среды, которая окружает нынешнего человека и творит его по своему образу и подобию [16, с. 9].

Не столь признано учение В. И. Вернадского о ноосфере (от греч. *nóos* – разум) – сфере разума планеты, органично вытекающее из концепции биосферы. В сжатом виде, дающем самое общее представление, учение В. И. Вернадского о ноосфере может быть представлено следующим образом.

Возникновение ноосферы протекает как процесс сугубо естественный, связанный с появлением человека разумного, создавшего новую геологическую силу – научную мысль, которая резко увеличила влияние живого вещества в эволюции биосферы. Для В. И. Вернадского научная мысль – это такое же закономерное и естественное явление, которое возникло в ходе эволюции живого вещества, как и человеческий разум. Научная мысль – это часть структуры биосферы; ее создание в эволюционном процессе жизни является величайшим событием в истории биосферы; это новая геологическая сознательно направляемая сила. Научное знание таит в себе безграничную потенцию развития, на Земле оно уже проявляется как биогенная сила, создающая ноосферу. На протяжении длительного времени человек создавал новые типы вещественно-энергетических круговоротов, неизвестные биосфере средства связи, виды живого вещества, подготавливая переход к ноосфере. Наука также эволюционирует вместе с человеком, и процесс этот нельзя ни остановить, ни повернуть вспять. Вместе с тем человек как высшая стадия эволюции живого вещества биосферы перестал укладываться в рамки ее организованности, перерабатывая ее коренным образом, даже местами разрушая. Поэтому существуют опасные для планеты тенденции человеческих преобразований природы, которые истощают планету, разрушают ее биосферу, несут в себе *антигуманные и ложные информационные потоки*, вредные для развития ноосферы. Преодолеть эти тенденции, избежать опасности гибели человечества, по мысли В. И. Вернадского, возможно лишь в случае единства человечества на путях осуществления перехода к сознательно-активной эволюции. Законченное оформление ноосферы произойдет не ранее, чем человек разовьет в себе планетарное сознание и мышление, направленные на сохранение биосферы и развитие ноосферы. По мнению В. И. Вернадского, эволюция биосферы в ноосферу приведет к тому, что человек сможет управлять силами природы и эволюцией живых существ. Человек, обладающий разумом и являющийся частью биосферы, в эпоху ноосферы хаотичному развитию жизни на Земле противопоставит упорядоченное человеческим разумом развитие [6, с. 242–482].

В своих научно-философских воззрениях академик охватывал эволюцию биосферы за миллионы лет и развитие человеческой мысли за века и тысячелетия, что во многом определило его представления о ноосфере. Он полагал, что неуклонный научно-технический прогресс приведет к торжеству разума и столь же разумной организации природы. Он мечтал о такой ноосфере, в которой произойдет расцвет жизни и разума, творческого гения человека. Как отмечают исследователи, этот его прогноз оказался преждевременным. Сегодня на планете и в околоземном пространстве безраздельно господствует техносфера, а ноосфера остается лишь мечтой [16, с. 10].

Из этого краткого обзора учения о ноосфере для нашей темы важными являются два вывода:

1. Ноосфера выступает как информационное пространство совокупного человеческого разума, связанного с биосферой и влияющего на нее.
2. Экология этого информационного пространства есть одновременно и значительнейшая часть экологии биосферы.

Ю. М. Лотман рассматривает ноосферу как область биосферы, организуемой сознанием человечества. Ноосфера у него выступает материально-пространственным образованием, а семиосфера абстрактна [5, с. 6]. Он не раскрывает детально их связь и отличия. Некоторые исследователи основное отличие

³ С. Т. Золян и Р. И. Жданов, например, рассматривают генетический код как информационно-семиотический феномен. По их мнению, обработка генетической информации может рассматриваться как некоторые операции по написанию, чтению и редактированию текста. Это позволяет описать генетическую информацию как двойственный – биохимический и семиотический – феном и в качестве дополнения к существующим биохимическим методам использовать также и семиотический аппарат. Семиотико-информационный подход к генетическому тексту позволяет найти новые формы упорядочения генетической информации, которая также может быть описана посредством семантических и семиотических характеристик, присущих интеллектуальным объектам [14; 15].

между этими двумя сущностями видят в том, что семиосфера создает коммуникативно-семиотическую структуру ноосферы. Если ноосфера охватывает содержание сознания и его воздействие на реальность, то семиосфера – это система знаковых опор сознания, то есть носителей и передатчиков смыслов, каналов и способов передачи информации [17, с. 81].

Экология семиосферы

Фундаментальные законы экологии как науки и их место в универсуме знания. Современная наука характеризуется глубокой разветвленностью любой отрасли знания и одновременной экспансией каждой науки на другие «территории», образуя в результате сложный симбиоз научного знания. Скажем, нынешняя экология представляет собой комплексную науку, которая включает в свой состав биоэкологию, геоэкологию, гидроэкологию, ландшафтную экологию, этноэкологию, социальную экологию, химическую экологию, радиоэкологию, экологию человека, информационную экологию и др. Точно так же и семиотика находит свои объекты повсюду – в природе, обществе, человеке, литературе и культуре, превращаясь в комплексную науку. Важной задачей в таких условиях является выявление и разработка фундаментальных законов и принципов, объединяющих разрозненное эмпирическое знание в стройную систему.

Считается, что систему законов экологии, представляющую собой методологическое обобщение экологического опыта современности, построил американский ученый Б. Коммонер [18, с. 219], сформулировав их в виде афоризмов [19, с. 19–28]:

1. Первый закон экологии – *все связано со всем*. Он означает, что между различными живыми организмами, между популяциями, видами, а также между отдельными организмами и их физико-химическим окружением существует колоссальная сеть связей в экосфере.

2. Второй закон – *все должно куда-то деваться* – это перефразировка фундаментального физического закона – материя не исчезает. В применении к экологии этот закон означает, что в природе не существует такой вещи, как «мусор». В любой природной системе экскременты и отбросы одних организмов служат пищей для других, чем обеспечивается замкнутый круговорот веществ и стабильное существование биосферы.

3. Третий закон экологии – *природа знает лучше*. По мнению Б. Коммонера, этот закон встречает значительное сопротивление, поскольку он противоречит глубоко укоренившейся уверенности в том, что человеческие существа «обладают уникальной компетентностью». Одной из наиболее характерных особенностей современных технологий является убеждение, что они призваны «улучшить природу» – обеспечить такие продукты питания, одежду, жилище и средства коммуникации, какие природа не может предоставить. Третий закон экологии утверждает также, что любое крупное антропогенное изменение природной системы вредно для нее и содержит призыв крайне осторожно обращаться с природными системами.

4. Четвертый закон экологии гласит – *ничто не дается даром*. По признанию Б. Коммонера, он заимствован им из экономики, поскольку в экологии, как и в экономике, этот закон призван подчеркнуть, что всякая вещь чего-то стоит. Четвертый экологический закон объединяет в себе предшествующие три закона, потому что глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которой ничего не может быть выиграно или потеряно. Она не может являться объектом всеобщего улучшения; все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено. Платежа по этому векселю нельзя избежать; он может быть только на определенное время отсрочен. Нынешний кризис экосферы говорит о том, что эта отсрочка слишком затянулась.

То, что «все связано со всем» понимали еще в древности, по-разному трактуя этот принцип в разных культурах и философских течениях⁴. Б. Коммонер распространяет свой первый закон только на живое вещество. В современной физике единых теорий, или Теорий Великого Объединения, закон «все связано со всем» трактуется как связь всех фундаментальных сил и взаимодействий – сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного; то есть здесь речь идет об объединении так называемого «косного вещества». В более широком плане смысл этого закона в Теориях Великого Объединения понимается как связь на фундаментальном уровне живого и неживого [20, с. 62]. При всем многообразии

⁴ Так, авторы древнеиндийских священных текстов выделяли общий принцип устройства и упорядоченности Вселенной, именуя его термином «Рита», которая изображалась в виде колесницы, управляемой Богами. По убеждению древнегреческих философов, в основе бытия должен лежать некий основополагающий принцип или субстанция, которые объединяют многое в единое. В качестве такого принципа пифагорейцы выдвигали число и музыкальный ряд, Платон – геометрические фигуры и т. д. [20, с. 57–61]. В средние века Джордано Бруно подчеркивал, что, как бы ни было велико число индивидов и вещей, все-таки в результате они образуют единство, и познание этого единства составляет цель и задачи всей философии и всего естествознания [21, с. 177]. В диалектике издавна существует принцип всеобщей связи явлений.

конкретных семиотик – действуют ли они в обществе природе или человеке, связующим ядром для них выступает информация [22, с. 5]. Вытекающая из этого многообразия теоретическая проблема, стоящая перед современной фундаментальной наукой, заключается в том, чтобы найти основу этой связи для всего универсума, независимо от разбиения его на части конкретными науками. Иными словами, найти основу мироздания и тем самым общую основу для всех наук.

Современная физика единых теорий, работающая над этой проблемой, вслед за Платоном полагает, что такая основа должна представлять собой некий геометрический образ, геометрическую модель внутренней структуры мироздания, из которой вытекают все законы, управляющие им.

Один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии австрийский физик-теоретик Э. Шредингер пишет: «В эйнштейновской теории гравитации представление о материи и ее динамических взаимодействиях базируется на понятии геометрической структуры, внутренне присущей пространственно-временному континууму. Идеальным устремлением этой теории, ее конечной целью является не более и не менее как доказательство следующего утверждения: четырехмерный континуум, наделенный определенной внутренней геометрической структурой, структурой, которая подчинена определенным, присущим ей чисто геометрическим законам, должен представлять собой адекватную модель или картину «окружающего нас реального мира в пространстве и времени» со всем, что он содержит, описывающую его поведение как целого, – картину всех событий, разыгрывающихся в нем» [23, с. 10].

Геометрическая структура – это абстракция, идеальная модель, выстраиваемая нашим сознанием – идеальной же сущностью. Тем самым крупнейшими физиками XX в. (А. Эйнштейном, Н. Бором, В. Гейзенбергом, Э. Шредингером и др.) был сделан следующий шаг к признанию того, что возникновение и существование Вселенной обязано полю, более тонкому, чем материя, полю, больше похожему на информацию или сознание. Все теоретические построения создаются идеальными сущностями – нашим мышлением и сознанием. Они являются предположениями (гипотезами) до тех пор, пока не получают подтверждения эмпирическим материалом, опытом, экспериментом. Применительно к обоснованию универсальной модели мироздания такой эксперимент по ряду причин поставить нельзя⁵, хотя модель создать можно, опираясь на сознание, мышление, а также информацию из всего универсума знания, а не отдельно взятой науки. Объяснительная сила и ценность модели будут зависеть от того, какое количество объектов, их фундаментальных структур и элементов может входить в состав этой модели, подчиняясь ее геометрическим законам и свойствам. Чем большее число объектов и явлений описываются с помощью полученной модели, тем ценнее модель, тем больше соответствует она их действительному строению.

Источником такой модели будут выступать сознание и мышление ее создателя, содержанием – фундаментальное знание из универсума наук и иных областей знания, а носителем информации – естественный язык, с помощью которого модель будет создаваться. Фактически в основу связи элементов модели будет поставлена информация, важнейшим носителем которой является слово⁶. В принципе, построение универсальной модели (матрицы) мироздания и следует начинать с получения геометрического образа структуры слова, поскольку оно дано нам в непосредственном наблюдении. Понятно, что это будет не отдельно взятое слово, а слово вообще – конструктивный объект⁷, отвлеченный от форм конкретных слов в разных языках и представленный в виде геометрической фигуры. Слово выступает центральной единицей языка, что дает возможность получить простейшую модель, отражающую наиболее существенные свойства языка в целом.

⁵ Одной из причин невозможности экспериментальной проверки подобной теории в физике выступает то обстоятельство, что для проведения эксперимента требуется ускоритель, который позволил бы получать частицы с энергией порядка 10^{19} ГэВ (ГэВ – единица энергии – гигаэлектронвольт; $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$). Крупнейший ускоритель, который можно построить на Земле (он опоясывал бы Землю по экватору), позволил бы получать частицы порядка 10^7 ГэВ [24, с. 6–7].

⁶ Виднейший физик XX в., лауреат Нобелевской премии В. Гейзенберг, говоря о роли языка в познании явлений, замечал: «Ситуация, с которой мы сталкиваемся в наших попытках "понять", может привести к мысли, что существующие у нас средства выражения вообще не допускают ясного и недвусмысленного описания положения вещей <...>. В атомной физике мы используем весьма развитый математический язык, удовлетворяющий всем требованиям ясности и точности <...>. Было бы, однако, слишком преждевременным требовать, чтобы во избежание трудностей мы ограничились математическим языком. Это не выход, так как мы не знаем, насколько математический язык применим к явлениям. Наука тоже вынуждена в конце концов положиться на естественный язык, ибо это единственный язык, способный дать нам уверенность, что мы действительно постигаем явления» [25, с. 121].

⁷ Принцип конструктивизма требует, чтобы модель была идеализацией объекта, независимой от субстанции, из которой она изготовлена, и отвлеченной от несущественных признаков объекта.

Слово как универсальная матрица мироздания. Конструктивная модель структуры слова, определяющая и структуру языка в целом, была получена нами в виде геометрического образа, включающего в себя все фундаментальные идеальные элементы слова, их связи и отношения (рис. 1).

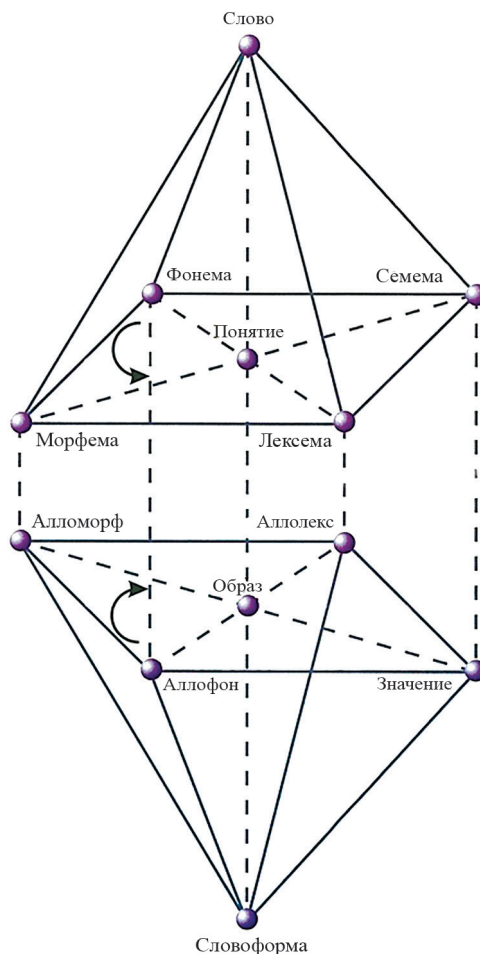


Рис. 1. Матрица слова

Fig. 1. Word matrix

Свойства матрицы слова, законы и принципы, по которым она создавалась, описаны автором статьи в ряде работ [см. например: 20; 26]. В рамках данной статьи нет необходимости подробно характеризовать матрицу слова, отметим только, что фактически она впервые представляет онтологическую структуру сознания и мышления любого человека, независимо от языка, которым он пользуется. Сознание и мышление, как известно, идеальны, но вместе с тем – они реальны. Таким образом, матричная модель слова сохраняет в себе основной принцип конструктивизма – быть идеальным, теоретическим аналогом реального объекта.

Идеальность структуры вынуждает предполагать, что в нашем сознании она может существовать как реальный объект в виде голографического образа, связанного с нейронными сетями мозга и всплывающего как фата-моргана при осуществлении мышления.

Известный американский нейропсихолог К. Прибрам в своей работе «Языки мозга» отмечал, что «всякое мышление включает, помимо манипуляции знаками и символами, голографический компонент. Голографические изображения представляют собой прекрасные ассоциативные механизмы. Они успешно и мгновенно выполняют кросс-корреляционные функции. <...> Голограммы образуются путем преобразований, которые при простом повторении, по существу, восстанавливают оригинал, из которого было составлено голографическое изображение. Голограммы – это «катализаторы мысли». Хотя сами они остаются неизменными, они входят в процесс мышления и облегчают его» [27, с. 401–407]. Внутренняя (идеальная) структура языка – это голограмма матрицы слова, только осложненная «этажами» (рис. 2). Количество «этажей» в структуре – это количество слов в ассоциативно-вербальной сети носителей языка. Для среднего носителя русского языка оно составляет 8–10 тысяч слов.

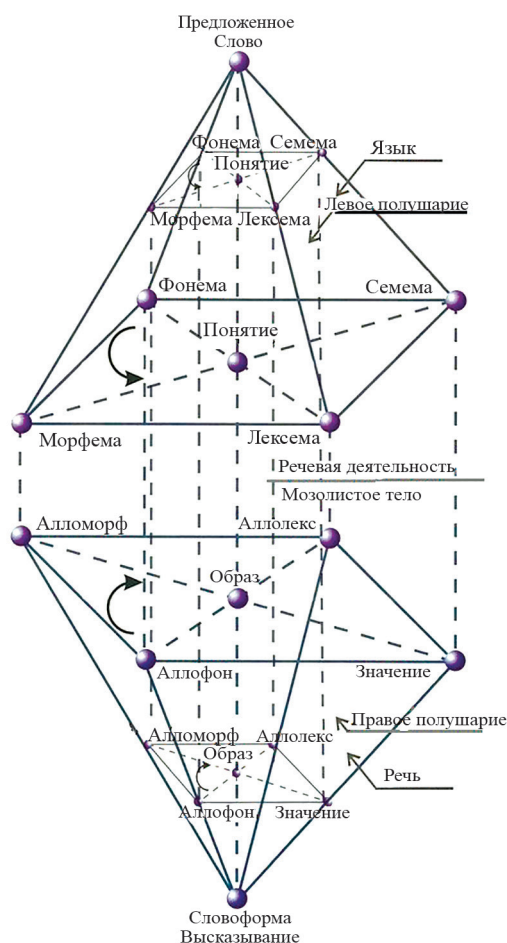


Рис. 2. Матрица языка

Fig. 2. Language matrix

Принцип структурного изоморфизма⁸ позволил распространить матрицу слова не только на язык, но и на другие объекты: большой мозг, генетический код, человека, фундаментальные физические силы, объекты макромира, включая Вселенную. Совершенно очевидно, что это не может быть простым совпадением (рис. 3). В матрице конкретно показано, что связано с чем, а в описании объясняется, на чем основывается механизм этой связи.

Описание матрицы Абсолюта в наиболее полном виде дано в работе автора «Матрица Абсолюта» [26], поэтому здесь мы не будем на этом останавливаться. Отметим только, что полученная матрица Слова возвращает нас к истокам закона «все связано со всем». Вспомним библейское «В начале было Слово, и Слово было у Бога, и Слово было Бог» (Ин. 1. 1). Однако чтобы сделать эту связь реальной, необходимо превратить матрицу из математической абстракции в конкретную сущность – назвать конкретное слово; то есть облечь слово, лежащее в основе мироздания, в физическую плоть в виде звуковых волн, выступающих носителями и передатчиками информации и энергии. Словом, которое равно Богу (Слово было Бог; Слово = Бог), может быть только его Имя. Еще античные авторы отмечали, что «если бы кто-то смог понять или назвать такое единство, которое, будучи единством, есть все и, будучи максимумом, есть минимум, то он постиг бы имя Божие» [29, с. 930]. О том, что Абсолют имеет личностную

⁸ Принцип структурного изоморфизма характеризует соответствия между структурами объектов. Две структуры, которые рассматриваются отвлеченно от природы составляющих их элементов, являются изоморфными друг другу, если каждому элементу первой структуры соответствует лишь один элемент второй и каждой связи в одной структуре соответствует связь в другой, и наоборот. Такое взаимоднозначное соответствие называется изоморфизмом. Он может быть полным лишь между идеализированными, абстрактными объектами. Изоморфизм связан не со всеми, а лишь с некоторыми фиксированными свойствами и отношениями сравниваемых объектов, которые в других своих отношениях и свойствах могут отличаться [28, с. 38].

форму, следовательно, и имя, говорил Г. Гегель⁹. Очевидным кажется тот факт, что равным человеку словом, по крайней мере, в социальной жизни, выступает его личное имя¹⁰ (в некоторых жизненных ситуациях оно оказывается даже более весомым, чем физическое присутствие человека).

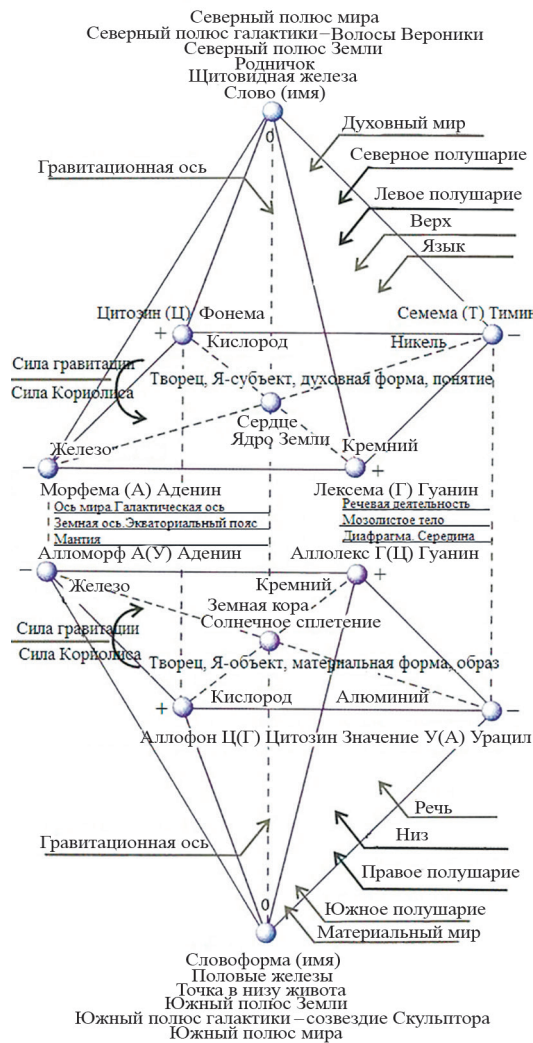


Рис. 3. Матрица Слова (имени Абсолюта)

Fig. 3. Word matrix (the name of Absolute)

Проблемы, связанные с дешифровкой кода матрицы Абсолюта и тем самым выявлением его личного имени, изложены нами в статье «Матрица Абсолюта и проблема дешифровки ее кода» [26, с. 210–218] и отчасти в другой статье – «Философия имени в трактовке С. Н. Булгакова» [32], поэтому мы не будем их касаться. Подчеркнем только, что полученная матрица слова, представляя собой матрично-волновой континуум, совершенно определенно указывает на то, что в основе всех эволюционных процессов и их связи лежит информация, по-разному реализующаяся на тех или иных уровнях бытия. Ложные информационные потоки, формируемые человеком на уровне своей деятельности, могут быть опасны и разрушительны не только для семиосферы, но и для биосферы, что со всей очевидностью проявляется в наше время.

⁹ «Если мы рассмотрим дух несколько ближе, то в качестве первого и простейшего определения его мы найдем, что он есть «Я». <...> [А Бог] «именно потому, что он дух, должен определять себя, полагать конечность в себе (иначе он был только мертвой, пустой абстракцией); но так как реальность, которую он дает посредством своего самоопределения, есть вполне соответствующая ему реальность, то Бог посредством нее не становится сам чем-то конечным. Предел, следовательно, не существует в Боге и духе, но лишь полагается духом, чтобы быть снятым» [30, с. 37]. И предел этот полагается именем Божиим, что делает Абсолюта конечным по форме и бесконечным по содержанию, минимумом и максимумом одновременно [31, с. 111].

¹⁰ Любопытно, что проведенный нами в студенческой аудитории и со слушателями повышения квалификации психологический эксперимент, предполагавший ответ на вопрос, *какое слово равно человеку?* показал, что никто из испытуемых не дал ответа – *личное имя*.

Не удивительно, что матрица Абсолюта возвращает нас не только к истокам фундаментального закона «все связано со всем», но и отправляет к истокам экологии семиосферы.

Экология языка и религии как древнейших частей семиосферы. Вопрос о соотношении языка и религии, науки и религии, религиозной и научной истины уходит своими корнями в глубину веков, получая различную интерпретацию в религиозных течениях и научном сообществе, в так называемой теории двойственной истины [см. подробнее: 26, с. 44–67]. Необходимость включения религиозного знания в общий универсум знания в новейшей истории имеет своих сторонников и противников как среди ученых, так и среди теологов. Современная культурология считает религию частью мировой культуры, поэтому в этом качестве она, безусловно, является частью культурологии, то есть частью научного знания. Сложнее обстоит дело с физико-математическими и естественными науками, хотя и здесь приверженцы широкого толкования закона «все связано со всем» полагают, что на глубинном уровне связь научной и религиозной истины несомненна. Проблема только заключается в том, чтобы обнаружить механизм этой связи.

В. И. Вернадский в рамках своей теории ноосферы полагал, что отделение науки и научного мировоззрения от деятельности человека в области религии, философии, общественной жизни или искусства неприемлемо. «Научное мировоззрение, – писал В. И. Вернадский, – есть создание и выражение человеческого духа; наравне с ним проявлением той же работы служат религиозное мировоззрение, искусство, общественная и личная этика, социальная жизнь, философская мысль или созерцание» [6, с. 193].

Религия во все времена выступала важнейшей частью семиосферы. Это связано с масштабностью пространства религии – она охватывает большинство населения Земли, глубине ее воздействия на сознание людей, ценностной силе. Семиотическое пространство религии сложно по строению и складывается из совокупности различных семиотик. Одной из главных религиозных семиотик выступает естественный язык.

Возросшее в последние годы внимание к проблемам экологии затронуло и язык. К языку как объекту экологии стали обращать свой взор не только гуманитарии (что естественно) – лингвисты, литературоведы, философы, историки, религиоведы, но и представители физико-математических и естественных наук. Характерной в этом отношении является статья «Экология слова. Концепция семиосферы Лотмана», соавтором которой выступает доктор физико-математических наук В. И. Коробко [33]. Авторы статьи полагают, что проблема экологии языка должна рассматриваться в предельно широком контексте: не только в рамках синтеза научного знания, но и как единение науки и религии в условиях глобального экологического кризиса.

Экология языка возникла в Древней Индии в незапамятные времена вместе с распространением священных текстов как экология религии. Индийская культурная традиция возводит знание, полученное индусами и зафиксированное в индийских священных текстах – Ведах, к Богу. Возникновение потребности в экологии семиотического пространства религии было вызвано чисто практическими причинами: необходимостью точного воспроизведения священных гимнов, которые существовали в устной поэтической форме и выступали главной составной частью религиозного обряда. В силу того, что ведические тексты, по представлениям древних индийцев, восходят к божественным источникам, то они имеют сакральную силу. Однако сверхъестественные возможности священного текста могут быть реализованы лишь в том случае, если текст будет воспроизводиться без малейшего варьирования языковой ткани. Правильность речевой части обряда должна была соблюдаться не только в отношении смысла, но и в отношении его звуковой формы, иначе сакральность обряда будет нарушена: выхода в божественное пространство¹¹, приобщения к нему не состоится.

Такое бережное отношение к естественному языку как главному знаковому воплощению религиозной семиосферы в дальнейшем, когда разговорные языки Древней Индии стали все больше и больше отличаться от языка священных текстов, стало толчком к развитию языкознания как науки в этой стране.

Знаковое пространство религиозной сферы включало в свой состав не только естественный язык. Как правило, обряд, связанный с ведическими гимнами, был сродни театрализованной постановке. Он включал в себя не только их речевое воспроизведение, но и сопровождался музыкой, танцами, иными изобразительными средствами. Нарушение орфоэпической правильности воспроизводимого текста священного гимна как бы разрывало связь между смежными искусствами, входящими в обряд. Поэтому правильность речевого воспроизведения религиозного текста в ведической традиции почти синонимична понятию его сакральности. С одной стороны, все это свидетельствует о многоликости религиозной практики древних индусов, а с другой – подчеркивает заложенные у них едва ли не на генетическом уровне представления о единстве языковой и духовной сфер, в которых «все связано со всем», и эту связь следует оберегать в семиотической деятельности человека.

Античная культурная традиция средиземноморской цивилизации во взглядах на роль слова в устройстве и функционировании мироздания в своем основном содержании едина с индийской. Античные

¹¹ Характерно, что вход в современное «запаролненное» киберпространство требует введения пароля с точностью его воспроизведения до каждого знака. В противном случае оно остается «глухим» к тому, кто стучится в него.

мыслители рассматривали Космос, Природу и Человека как единое целое, но это были уже не столько религиозные, сколько философские представления. Согласно этим представлениям, единство целому придает Логос (греч. *logos* – понятие; мысль, разум), который выступает как мировой разум и как начало, образующее разумность отдельного человека. С помощью слова человек формирует сакральный опыт, оно дает возможность человеку постигать и объяснять мир, приобретать знания, упорядочивать социальную деятельность. В силу начала, связывающего «все со всем», слово требует к себе особенно внимательного отношения. Его нужно правильно создавать и применять, так как в противном случае нарушится гармония в космосе и порядок в обществе. В отличие от индусов, греки с помощью слова связывают в одно целое не только человека и космос, но и природу, призывая охранять это единство в практической деятельности. Речь идет о философском направлении, которое считало, что каждое имя отражает природу обозначаемой вещи, неразрывно связано с ней и что в именах раскрывается сущность вещей. Отсюда следовало, что к словам следует бережно относиться и по причине их природной связи с вещами, поскольку именование вещи в процессе речи всегда вызывает к жизни то или иное отношение одних вещей к другим, одних людей к другим или вещей к людям, вызывает действие или становление чего-то. Неправильное применение имен будет нарушать и природную гармонию.

Индийский и средиземноморский экологический подход к слову (естественному языку) как главному связующему элементу всех сфер – космической, природной, социокультурной – характерен и для других культур и религий. Он стал одним из основных сдерживающих факторов перевода священных текстов на иные, чем язык текстов, неканонические языки¹².

Фактически же все коллизии, обусловленные историческим бытованием священных текстов, связаны с проблемой аутентичности сакрального текста его богодухновенному источнику. Перевод сакральных текстов внушал опасения: не утратят ли они святость при переводе на иной язык? Такие опасения имели под собой почву, поскольку перевод религиозного канона на новые языки зачастую приводил не просто к распространению учения, но к его развитию, видоизменению, к проявлению еретических и диссидентских движений, к расколу церкви [см. подробнее: 35, с. 232–251].

Как уже отмечалось выше, религиозная часть семиосферы включает в свой состав не только слово и естественный язык в целом, но и различные виды искусств: музыку, танцы, архитектуру, живопись и т. д. «Потрясения» в религиозном культурно-семиотическом пространстве могли вызываться нарушениями канона в этих видах искусств. Известным примером выступает так называемое иконоборчество, вызванное различным прочтением религиозных иконических знаков. Оно возникло в Византии в VIII – начале IX в., носило характер религиозно-политического движения и было направлено против почитания икон.

С одной стороны, иконоборчество возникло как чисто внутрирелигиозная борьба с идолопоклонством. Христианская церковь унаследовала от иудейства запрещение религиозных изображений, имеющее силу закона: «Не сотвори себе кумира и никакого изображения того, что на небе вверху... не поклоняйся им и не служи им» (Исх. 20:4-5). Однако в религиозной практике этот закон нарушался, и к IV в. стены христианских храмов уже повсеместно украшались живописными изображениями Христа, Богородицы, святых, библейских сцен¹³. Другой причиной борьбы с иконами был не ветхозаветный запрет, а представление о том, что божественная природа сама по себе неизобразима [см. подробнее: 36, с. 243–258].

¹² Латинский перевод Библии (Вульгата) осуществлен в 390–405 гг. Иеронимом Стридонским. В девятом столетии Библия была переведена на старославянский язык братьями Кириллом и Мефодием. В 1380 г. профессор Оксфорда Джон Виклиф сделал первые рукописные переводы Вульгаты на английский язык. Только в 1822 г. впервые был полностью напечатан Новый Завет на русском языке. Причиной сдерживания переводов могли быть и иные факторы. В истории известны случаи, когда Католическая и Православная церкви препятствовали переводу Библии на другие языки, аргументируя это желанием предотвратить ее неправильное истолкование и ошибки. Так, в 1079 г. папа Григорий VII отказал в переводе Библии, заявив: «Тем, кто часто над этим размышляет, ясно, что не без причины Всевышнему Богу угодно, чтобы Священное Писание было в некоторых местах тайной, потому что, если бы оно было понятно всем людям, возможно, его бы не ценили и не уважали; или его могли бы неправильно истолковать необразованные люди, и это привело бы к ошибке» [34]. «Тайна», «не ценили и не уважали», «неправильное истолкование необразованными людьми» – все это наводит на мысль о желании священнослужителей присвоить себе исключительное право осуществлять связь человека с Богом.

¹³ С. Н. Булгаков так объясняет это противоречие: «...икона появляется в христианской Церкви и занимает свое место, несмотря на запрет второй заповеди и как будто вопреки этому запрету, воспринятому и христианством, молча и неприметно, как нечто само собою разумеющееся. Можно, конечно, видеть в этом прямое влияние язычества или «острую эллинизацию» христианства... На самом деле христианство от греко-римской культуры избирает и воспринимает *свое*, то, что принадлежит ему, как «христианство до Христа» в языческом мире, подобно тому, как магнит притягивает к себе железные опилки. Здесь следует говорить не о влиянии на христианство, но о влиянии в христианство того, чему было естественно в него вливаться, силою внутреннего родства. Таким образом, икона властно заняла свое место в церковной жизни и сделалась уже фактом церковного предания ранее, нежели возникает догматическая рефлексия по поводу этого факта вместе с сомнением относительно изобразимости Божества и допустимости иконопочитания: ветхозаветный запрет сначала отменяется силою факта, и лишь позже факт этот является догматически замеченным и начинает вызывать недоумение» [36, с. 247].

С другой стороны, помимо причин чисто богословского толка, иконоборчество вызывалось причинами политического и военного характера: желанием императоров уничтожить одну из главных преград для сближения христиан с иудеями и мусульманами, которые отрицательно относились к иконам; стремлением отвлечь людские силы и денежные средства от церкви и направить их в государственную казну; военными поражениями. В VII—VIII вв. Византия потерпела ряд серьезных поражений от арабских завоевателей. Император Лев III счел, «что виновником всех бед явилось растущее почитание икон», то есть служение идолам. В 730 г. он запретил почитание икон, в результате чего были уничтожены тысячи икон, а также мозаик, фресок, изваяний святых и расписных алтарей во многих храмах. Иконоборчество стало одной из причин разделения в 1054 г. христианства на западную (Римско-католическую) и восточную (Греко-православную) церкви [37].

Таким образом, одной из существеннейших особенностей религиозной семиосферы выступает ее высокая чувствительность к разному пониманию знаков, функционирующих в сфере религиозной коммуникации, что делает эту часть семиосферы предметом особой заботы экологии.

Здесь нельзя не отметить то парадоксальное состояние, о нем в свое время говорил Н. А. Бердяев, в котором очутилась эта часть семиосферы. Н. А. Бердяев, размышляя над вопросом о том месте, которое должно занимать христианство в новую эпоху, в эпоху научно-технического прогресса, отмечал, что «христиане оказались совершенно неподготовленными» к оценке происходящего, к месту техники и машины в человеческой жизни. Природный мир, в котором в прошлом совершилось христианское откровение, жили апостолы, святые – это уже застывшая реальность 2000-летней давности; мир совершенно изменился. Научно-технический прогресс разрушил прошлый, патриархальный, уклад жизни, оторвал человека от земли. Христиане научились жить в этом новом мире в двух ритмах – ритме религиозном и ритме мирском – благодаря христианскому дуализму. Однако в религиозном смысле остается неясным, что привносит в христианство этот вновь образовавшийся и развивающийся мир. Символика христианства во многом связана с органической жизнью, которая уступает место металлу, машинной цивилизации, научным технологиям. Наступившая суровая эпоха техники, новых технологий и соответствующего им духа, требует от христианства переосмысления некоторых положений вероучения, обновления форм христианской жизни [38, с. 669–670]. Все это справедливо по отношению не только к христианству, но и ко всей религиозной сфере в целом.

В прошедшие 2000 лет в семиосфере, также неотвратимо как первый и второй законы, действовал третий закон экологии – *природа знает лучше*. Что-то постепенно терялось, что-то приобреталось, что-то изменялось и в религиозной сфере, сопровождаясь то большими, то меньшими потрясениями. И если такие изменения назревают как неизбежность эволюционного процесса, то следует крайне осторожно обращаясь с ними, попытаться вписаться в этот эволюционный процесс с минимальными потерями и потрясениями. И при этом помнить про действие четвертого закона экологии – *ничто не дается даром*.

Заключение

Рассмотрение семиосферы в широком общенаучном контексте показывает, что семиосфера как часть универсума мироздания нуждается в такой же экологической защите, как и окружающий человека мир. Законы биологической экологии распространяют свое действие и на семиосферу как важнейшую часть планетарного информационного пространства. Сохранение гармонии этого пространства – задача такая же существенная, как и сохранение природы. Решать эти задачи следует комплексно, поскольку гармония в одном пространстве гармонизирует тесно связанное с ним другое.

Актуальность усилению экологизации информационной среды придают новые тенденции в развитии социума: появление глобальных информационных систем, ускорение взаимопроникновения различных культур, миграция, глобализация всех сторон человеческой жизни и др. Как в природе есть предельные уровни в развитии тех или иных систем, превышение которых приводит к необратимым процессам разрушения, так и в семиосфере существуют пределы ее искажения. Выход за эти пределы приводит к разрушению той или иной части, проявляясь на поверхности в виде природных катаклизмов, техногенных катастроф, повышению агрессивности и беспричинной жестокости людей.

Одна из задач гармонизации семиосферы заключается в предотвращении разрушительного действия на окружающую среду «антигуманных и ложных информационных потоков» (В. И. Вернадский): информационные войны, фейковые новости, насилие в медиа-пространстве и др. Фундаментальная часть этой задачи состоит в развертывании научных исследований и практических разработок в области матрицы Абсолюта. Направления таких исследований сформулированы нами в проекте «Матрица Абсолюта» [см. 28; 39]. Экологическая составляющая проекта отражена в уже упоминавшейся статье «Матрица Абсолюта и проблема дешифровки ее кода» [26]. Безусловно, необходимо также расширять конкретные исследования в области эколингвистики и экологии культуры.

Библиографические ссылки

1. Пирс Ч. С. Избранные философские произведения. М., 2000.
2. Моррис Ч. У. Основания теории знаков // Семиотика / под ред. Ю. С. Степанова. М., 1982. С. 37–89.
3. Соссюр де Ф. Труды по языкознанию. М., 1977.
4. Степанов Ю. С. Семиотика. М., 1971.
5. Лотман Ю. М. О семиосфере // Труды по знаковым системам. Вып. 17. Ученые записки Тартуского университета. Тарту, 1984. № 641. С. 5–23.
6. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М., 2007.
7. Лотман Ю. М. Об искусстве. СПб., 1998.
8. Жакоб Ф. Лингвистическая модель в биологии // Вопросы языкознания. 1992. № 3. С. 135–141.
9. Ратнер В. А. Молекулярно-генетические системы управления. Новосибирск, 1975.
10. Гамкрелидзе Т. В. Р. О. Якобсон и проблема изоморфизма между генетическим кодом и семиотическими системами // Вопросы языкознания. 1988. № 3. С. 5–9.
11. Якобсон Р. О. Лингвистика в ее отношении к другим наукам: Избранные работы. М., 1985. С. 387–404.
12. Гельфанд М. С. Коды генетического языка и естественный язык // Вопросы языкознания. 1990. № 6. С. 60–70.
13. Иванов Вяч. Вс. Чет и нечет. Асимметрия мозга и знаковых систем. М., 1978.
14. Золян С. Т., Жданов Р. И. Геном как информационно-семиотический феномен // Философия науки и техники. 2018. Т. 23. № 1. С. 88–102.
15. Золян С. Т., Жданов Р. И. Геном как (гипер) текст: от метафоры к теории // Критика и семиотика. 2016. № 1. С. 60–84.
16. Баландин Р. К. Учение о биосфере, мечта о ноосфере. Предисловие // В. И. Вернадский. Биосфера и ноосфера. М., 2007. С. 5–30.
17. Мечковская Н. Б. Семиотика: Язык. Природа. Культура. М., 2004.
18. Хорошавина С. Г. Концепции современного естествознания. Ростов н/Д, 2005.
19. Коммонер Б. Замыкающийся круг. М., 1974.
20. Гируцкий А. А. Структура слова: монография. Минск, 2005.
21. Бруно Д. О причине, начале и едином. М., 1934.
22. Степанов Ю. С. Вводная статья. В мире семиотики // Семиотика: Антология. М., Екатеринбург, 2001. С. 5–42.
23. Шредингер Э. Пространственно-временная структура Вселенной. М., 1986.
24. Линде А. Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М., 1990.
25. Гейзенберг В. Шаги за горизонт. М., 1987.
26. Гируцкий А. А. Матрица Абсолюта: словарь, избранные статьи. Минск, 2017.
27. Прибрам К. Язык мозга. М., 1975.
28. Гируцкий А. А. Имя и реальность в истории культуры и науки и в современном языкознании // Slavica Slovaca. 2016. Вып. 51, № 1. С. 33–43.
29. Лосев А. Ф. Бытие – имя – космос / сост. и ред. А. А. Тахо-Годи. А. Ф. Лосев. М., 1993.
30. Гегель Г. Философия духа // Энциклопедия философских наук. М., 1977. Т. 3.
31. Гируцкий А. А. Тайна имени. Минск, 1996.
32. Гируцкий А. А. Философия имени в трактовке С. Н. Булгакова // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия гуманитарных наук. № 1. 2015. С. 14–19.
33. Коробко В. И., Цветлюк Л. С. Экология слова. Концепция семиосферы Лотмана // Инновации в отраслях народного хозяйства как фактор решения социально-экономических проблем современности (Москва, 05–06 дек. 2013 г.): сб. докл. и материалов III Междунар. науч.-практ. конф. М., 2013. С. 19–23.
34. Переводы Библии. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 17.09.2018).
35. Мечковская Н. Б. Язык и религия. М., 1998.
36. Булгаков С. Первообраз и образ: сочинения в двух томах. Т. 2. Философия имени. Икона и иконопочитание. Приложения. СПб., М., 1999.
37. Иконоборчество. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
38. Бердяев Н. А. Смысл творчества: Опыт оправдания человека. М.; Харьков, 2004.
39. Гируцкий А. А. «Единая» теория и возможности ее практического применения // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия гуманитарных наук. № 3. 2013. С. 17–21.

References

1. Peirce Ch. S. [Selected philosophical works]. Moscow, 2000 (in Russ.).
2. Morris Ch. W. [Grounds of the Theory of Signs]. *Semiotika*. M., 1982. P. 37–89 (in Russ.).
3. Saussure de F. [Linguistics Works]. M., 1977 (in Russ.).
4. Stepanov Y. S. [Semiotics]. M., 1971 (in Russ.).
5. Lotman Y. M. [About semiosphere]. *Ushenye zapiski Tartuskogo universiteta*. Tartu, 1984. No 641, issue 17. P. 5–23 (in Russ.).
6. Vernadski W. I. [Biosphere and Noosphere]. M., 2007 (in Russ.).
7. Lotman Y. M. [About Art]. St.Petersburg, 1998 (in Russ.).
8. Jacob F. [Linguistic Model in Biology]. *Voprosy yazykoznaniiya*. 1992. No 3. P. 135–141 (in Russ.).
9. Ratner W. A. [Molecular Genetic Control Systems]. Novosibirsk, 1975 (in Russ.).
10. Gamkrelidze T. W. [R.O. Jakobson and the Problem of Isomorphism between Genetic Code and Semiotic Systems]. *Voprosy yazykoznaniiya*. 1988. N 3. P. 5–9 (in Russ.).
11. Jakobson R. O. [Linguistics in its Relation to Other Sciences]. *Izbrannyje raboty*. Moscow, 1985. P. 387–404 (in Russ.).
12. Gelfand M. S. [The Codes of Genetic Language and Natural Language]. *Voprosy yazykoznaniiya*. 1990. No 6. P. 60–70 (in Russ.).
13. Ivanov W. W. [Odd and Even. Asymmetry of Brain and Sign Systems]. Moscow, 1978 (in Russ.).

14. Zolian S. T., Zhdanov R. I. [The Genome as a Semiotic Phenomenon]. *Filosofiya nauki i tekhniki*. 2018. Vol. 23. No 1. P. 88–102 (in Russ.).
15. Zolian S. T., Zhdanov R. I. [The Genome as a (hyper) Text: from Metaphor to Theory]. *Kritika i semiotika*. 2016. No 1. P. 60–84 (in Russ.).
16. Balandin R. K. [Theory of the Biosphere, the Dream of a Noosphere. Preface]. *Biosfera i noosfera*. Moscow, 2007. P. 5–30 (in Russ.).
17. Mechkovskaya N. B. [Semiotics: Language. Nature. Culture]. Moscow, 2004 (in Russ.).
18. Horoshavina S. G. [Concepts of Modern Natural Science: Lectures]. Rostov n/D, 2005 (in Russ.).
19. Commoner B. [Closing Circle]. Moscow, 1974 (in Russ.).
20. Girutskij A. A. [Word Structure]: monograph. Minsk, 2005 (in Russ.).
21. Giordano B. [On Cause, Origin and Unity]. Moscow, 1934 (in Russ.).
22. Stepanov Y. S. [Introductory Article. In the World of Semiotics]. *Semiotika: Antologiya*. Moscow; Ekaterinburg, 2001. P. 5–42 (in Russ.).
23. Schrödinger E. [Spatio-Temporal Structure of the Universe]. Moscow, 1986 (in Russ.).
24. Linde A. D. [Particle Physics and Inflationary Cosmology]. Moscow, 1990 (in Russ.).
25. Heisenberg W. [Steps beyond the Horizon]. Moscow, 1987 (in Russ.).
26. Girutskij A. A. [Matrix of the Absolute: Dictionary, Selected Articles]. Minsk, 2017 (in Russ.).
27. Pribram K. [The Implicate Brain]. Moscow, 1975 (in Russ.).
28. Girutskij A. A. [Name and Reality in the History of Culture and Science and in Contemporary Linguistics]. *Slavica Slovaca*. 2016. Issue 51, No 1. P. 33–43 (in Russ.).
29. Losev A. F. [Genesis-Name-Space]. Moscow, 1993 (in Russ.).
30. Hegel G. [The Philosophy of Spirit]. *Entsiklopediya filosofskikh nauk*. Vol. 3. Moscow, 1977 (in Russ.).
31. Girutskij A. A. [Secret of the Name]. Minsk, 1996. (in Russ.).
32. Girutskij A. A. [Philosophy of the Name in the Interpretation of S. N. Bulgakov]. *Izvestiya Natsionalnoj akademii nauk Belarusi. Seriya humanitarnykh nauk*. 2015. No 1. P. 14–19 (in Russ.).
33. Korobko V. I., Tsvetlyuk L. S. [Ecology of the Word. Lotman's Semiosphere Concept]. *Innovatsii v otraslyakh narodnogo khozyaistva kak faktor resheniya sotsialno-ekonomicheskikh problem sovremennosti* (Moskva, 05–06 dek. 2013 g.): sb. dokl. i materialov III Mezhdunar. nauch.-pract. konf. Moscow, 2013. P. 19–23 (in Russ.).
34. The Bible Translations. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (date of access: 17.09.2018).
35. Mechkovskaya N. B. [Language and Religion]. Moscow, 1998 (in Russ.).
36. Bulgakov S. [The Prototype and Image]: In two vol. Vol. 2. *Filosofiya imeni. Ikona i ikonopochitanije. Prilozheniya*. St. Petersburg; Moscow, 1999 (in Russ.).
37. Iconoclasm. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
38. Berdyaev N. [The Meaning of Creativity: the Experience of Justification of Man]. Moscow; Harkov, 2004 (in Russ.).
39. Girutskij A. A. [Unified Theory and its Practical Application]. *Izvestiya Natsionalnoj akademii nauk Belarusi. Seriya humanitarnykh nauk*. 2013. No 3. P. 17–21 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 30.10.2018.
Received by editorial board 30.10.2018.

ИЗУЧЕНИЕ

И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY

AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 611.411:614.871:621.039.58(476)

СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

В. В. ЖУРАВКОВ¹⁾, С. С. ПОЗНЯК¹⁾, А. Н. СКИБИНСКАЯ¹⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Представлены обобщенные данные определения фоновых уровней содержания трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС, проведенных специалистами УО «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (далее – МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ). Результаты получены на основе разработанной в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ уникальной методики определения низких активностей трития в воде на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах серии TRI-CARB и QUANTULUS [1]. Работа «Комплексный экологический мониторинг Белорусской АЭС на период сооружения (определение содержания трития в пробах поверхностных и подземных вод)» выполнялась в рамках НИР по заданию ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

В результате выполнения работы определена удельная активность трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС. При этом за весь цикл наблюдений испытано шестьдесят две пробы поверхностных

Образец цитирования:

Журавков В. В., Позняк С. С., Скибинская А. Н. Содержание трития в гидрографической сети в районе строительства Белорусской АЭС // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 18–23.

For citation:

Zhuravkov V. V., Pazniak S. S., Skibinskaya A. N. Monitoring of the tritium concentration in the hydrographic network of the Belarusian NPP construction area. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 18–23 (in Russ.).

Авторы:

Владислав Владимирович Журавков – кандидат биологических наук, доцент, декан факультета мониторинга окружающей среды.

Сергей Степанович Позняк – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе.

Анна Николаевна Скибинская – аспирант кафедры ядерной и радиационной безопасности.

Authors:

Vladislav V. Zhuravkov, PhD (biology), docent; dean of the faculty of environmental monitoring.

zhuravkov@iseu.by

Sergei S. Pazniak, doctor of science (agriculture), full professor; deputy director for research.

pazniak@iseu.by

Anna Skibinskaya, postgraduate student at the department of nuclear and radiation safety.

skopets.0804@gmail.com

вод, отобранных на пунктах в зоне наблюдения Белорусской АЭС, выполнено более 310 прямых измерений длительностью 300–500 мин (до статистической погрешности не более 5 %).

Ключевые слова: тритий; радиоактивность воды; методы измерений; среднее значение удельной активности трития; дозовые нагрузки.

MONITORING THE TRITIUM CONCENTRATION IN THE HYDROGRAPHIC NETWORK OF THE BELARUSIAN NPP CONSTRUCTION AREA

V. V. ZHURAVKOV^a, S. S. PAZNIAK^a, A. N. SKIBINSKAYA^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daubhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: V. V. Zhuravkov (zhuravkov@iseu.by)

The article presents the generalized data for determining the background levels of tritium in open water bodies in the area of the Belarusian NPP construction, conducted by the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University (ISEI BSU). The results were obtained on the basis of developed in the ISEI BSU the unique method for the determination of low tritium activities in water on the liquid-scintillation radiometers of the TRI-CARB and QUANTULUS series [1]. The work was carried out within the framework of the Research work: «Comprehensive environmental monitoring of the Belarusian NPP for the construction period (Determination of tritium content in surface and ground water samples) sponsored by Republican center for hydrometeorology, control of radioactive contamination and environmental monitoring.

As a result of the work, the specific activity of tritium in open water bodies in the area of the Belarusian NPP construction was determined. At the same time, for the entire observation cycle, sixty-two surface water samples were taken at sites in the observation zone of the Belarusian NPP, more than 310 direct measurements were made with a duration of 300–500 minutes (no more than 5 % statistical error).

Key words: tritium; water radioactivity; measurement methods; average value of specific activity of tritium; dose loads.

Введение

Международными рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) предписывается проведение радиационного мониторинга в районе размещения атомной электростанции (АЭС) на всех этапах: строительства (оценка «нулевого» фона), эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС. Оценка «нулевого» фона производится за 2–3 года до пуска АЭС в эксплуатацию. Она является важным и обязательным этапом, поскольку полученные результаты такого мониторинга в дальнейшем используются для сравнения и оценки влияния АЭС на окружающую среду и население [2].

В Республике Беларусь строится первая атомная электростанция с двумя блоками ВВЭР-1200. С 2016 г. и по настоящее время проводится экологический мониторинг для определения «нулевых» фоновых значений трития в открытых водоемах в районе размещения Белорусской АЭС, являющийся важным этапом на период сооружения станции. Пробы воды для исследований были предоставлены ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

Тритий – радиоактивный изотоп водорода, который образуется как естественным путем, главным образом в результате взаимодействия частиц космических лучей с атомными ядрами молекул воздуха в верхней атмосфере, так и искусственным – вследствие работы ядерных реакторов и других отраслей промышленности. Он по ряду причин занимает особое место в вопросах обеспечения радиационной безопасности АЭС¹. Во-первых, содержание трития в жидких сбросах при нормальной работе АЭС намного превосходит по абсолютному значению содержание всех остальных нуклидов, а в газообразных выбросах в окружающую среду количество трития уступает только объему радиоактивных благородных газов (РБГ). Во-вторых, в отличие от химически инертных РБГ, инкорпорированный тритий эффективно

¹ Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь (ОВОС). Этап 4: Оценка воздействия на окружающую среду. Раздел 4. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее Белорусской АЭС. Поверхностные воды. Количественные и качественные характеристики. Раздел 5. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее Белорусской АЭС. Поверхностные воды. Оценка возможного радионуклидного загрязнения водотоков // Трансграничный перенос радиоактивных загрязнений. Минск, 2009.

включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения как за счет β -излучения средней энергии 5,8 кэВ, так и при нарушении молекулярных связей, вызванных заменой изотопа водорода нейтральным гелием, образовавшимся в результате распада трития. В-третьих, тритий обладает большим периодом полураспада (12,6 лет) и вследствие этого является глобальным загрязнителем природных комплексов. Эти и некоторые другие особенности позволяют отнести тритий к числу наиболее радиационно опасных долгоживущих нуклидов, которые способны загрязнять биосферу не только в районе непосредственного размещения источника, но и в региональном масштабе.

Очевидно, что эти соображения привели к включению трития в список контролируемых радиологических параметров, отмеченных в новой Директиве ЕС по качеству питьевой воды [2]. В настоящее время проблему тритиевого загрязнения водных экосистем в районах размещения предприятий ядерно-топливного комплекса можно считать одной из ключевых в радиоэкологии. При работе АЭС тритий поступает в окружающую природную среду и быстро мигрирует из мест первичного загрязнения, поэтому единичные и несистематические измерения его не позволяют выявить реальных масштабов загрязнения водных систем. В связи с этим необходимо проводить регулярный мониторинг трития.

Материалы и методы исследования

Для определения активности трития в пробах воды использовалась утвержденная Белорусским государственным институтом метрологии «Методика определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS» (МВИ. МН 4143) [1]. Она разработана для определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS. Методика применима для всех типов воды (реки, озера, родники, подземные воды, морская вода и др.) с объемной активностью трития до 10^6 Бк/л и предназначена для мониторинговых исследований трития в регионе расположения АЭС с момента строительства и до закрытия, а также для других экологических исследований.

Определение удельной активности трития в воде основано на измерении суммарного бета-счета в энергетическом диапазоне 0–18,6 кэВ с помощью жидкостных сцинтилляционных радиометров, которые обеспечивают непосредственный контакт измеряемого образца (диспергированием или растворением) с жидким сцинтиллятором. Принцип работы жидкостного сцинтилляционного радиометра Tri-Carb основан на взаимодействии бета-излучающего радионуклида и сцинтиллятора – компонента сцинтилляционной смеси. Сцинтиллятор преобразует ионизирующее излучение от радионуклида в фотоны (сцинтилляция). Интенсивность света, вырабатываемого во время сцинтилляции, пропорциональна начальной энергии бета-частицы. Для измерения трития можно использовать различные типы жидкосцинтилляционных радиометров, применение которых зависит от уровня удельной активности трития [1].

Перед выполнением измерений образцов необходимо произвести нормализацию и калибровку прибора (автоматическую нормализацию и калибровку – SNC). Для этого соответствующим образом устанавливают в кассеты флаконы (порядок зависит от используемой модели). Для радиометра 2910TR: негашеный стандарт углерода-14 в первую позицию; негашеный стандарт трития во вторую позицию кассеты; очищенный стандарт фона в третью позицию кассеты. Данная процедура необходима, чтобы удостовериться, что прибор производит точную количественную оценку всех эмиссий бета-частиц. Крайне желательно (рекомендации разработчиков), чтобы нормализация и калибровка (процедура SNC) прибора проводилась через 23-часовые (приблизительно ежедневные) промежутки. После автоматической нормализации и калибровки устанавливают в приемный блок радиометра кассеты с флаконами, в которых находятся пробы воды с коктейлем для измерений, а также включают опцию – прямой анализ DPM, энергетический диапазон (0–18,6 кэВ), время измерений или погрешность измерений (программа радиометра определяет время измерений до заданной погрешности) [1].

После пробоподготовки воды, согласно методике МВИ.МН 4143, в 10 мл сцинтилляционного коктейля ULTIMA GOLD добавляется 5 мл образца. Для каждой пробы воды проводится 5 измерений по 300 мин каждое.

Измерения проводились на жидкосцинтилляционном радиометре TRI-CARB 2901 TR. Результатами измерений данного прибора являются: CPM – импульсы/минуту и эффективность регистрации – $E_{эфф}$ (%). Эффективность регистрации в среднем равна 40 %.

Из импульсов/минуту необходимо перейти к объемной активности. Это можно сделать, рассчитав распады /минуту – DPM, следующим образом:

$$DPM = \frac{CPM - CPM_{\text{фона}}}{E_{эфф}} \cdot 100 \left[\frac{\text{распад}}{\text{мин}} \right], \quad (1)$$

где $CPM_{\text{фона}}$ – фоновое значение, которое равно 5,3 имп/мин.

Далее определяем объемную активность по формуле 2:

$$A_{ул} = \frac{DPM}{60 \cdot V} \cdot 1000 \left(\frac{Бк}{л} \right), \quad (2)$$

где V – объем пробы, который равен 5 мл.

Результаты исследования и их обсуждение

При выполнении работы были исследованы пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки Белорусской АЭС: р. Вилия (н.п. Малые Свиранки, н.п. Михалишки); р. Гозовка (н.п. Гоза); р. Лоша (н.п. Гервяты); р. Полпе (н.п. Чехи); р. Страча (н.п. Ольховка); колодец (н.п. Маркуны).

Всего было произведено 310 прямых измерений по 300–500 мин для 62 проб воды из рек в районе строительства Белорусской АЭС.

В табл. 1 и 2 приведены результаты исследований за 2016 и 2017 годы [3–5].

Таблица 1

Содержание трития в водных объектах (2016 г.)

Table 1

Content of tritium in water objects (2016)

№	Пункт наблюдений	Дата отбора	Активность, Бк/л $A \pm \Delta^*$
1	р. Вилия, н.п. Михалишки	29.04.2016	2,80±0,27
2	р. Вилия, н.п. Михалишки	31.05.2016	3,70±0,37
3	р. Вилия, н.п. Михалишки	21.09.2016	2,20±0,22
4	р. Вилия, н.п. Малые Свиранки	31.05.2016	2,20±0,22
5	р. Вилия, н.п. Малые Свиранки	12.07.2016	2,40±0,24
6	р. Вилия, н.п. Мужилы	31.05.2016	2,30±0,24
7	р. Вилия, н.п. Мужилы	12.07.2016	2,80±0,27
8	р. Лоша, н.п. Гервяты	18.05.2016	4,10±0,40
9	р. Лоша, н.п. Гервяты	12.07.2016	3,10±0,31
10	р. Лоша, н.п. Гервяты	21.09.2016	2,60±0,26
11	р. Полпе, н.п. Чехи	29.04.2016	2,70±0,27
12	р. Полпе, н.п. Чехи	18.05.2016	3,30±0,32
13	р. Гозовка, н.п. Гоза	29.04.2016	2,30±0,23
14	р. Гозовка, н.п. Гоза	18.05.2016	3,20±0,33
15	р. Гозовка, н.п. Гоза	21.09.2016	2,50±0,24
16	р. Страча, н.п. Ольховка	31.05.2016	3,80±0,38
17	р. Страча, н.п. Ольховка	21.09.2016	2,50±0,25

* Δ – основная относительная погрешность метода 10 % при доверительном интервале 0,95.

Таблица 2

Содержание трития в водных объектах (2017 г.)

Table 2

Content of tritium in water objects (2017)

№	Пункт наблюдений	Дата отбора	Объемная активность, Бк/л $A \pm \Delta$
1	р. Вилия, н.п. Малые Свиранки	6.02.2017	2,10±0,21
2	р. Вилия, н.п. Мужилы	7.02.2017	2,20±0,21
3	р. Вилия, н.п. Михалишки	8.02.2017	2,20±0,22
4	р. Гозовка, н.п. Гоза	8.02.2017	2,30±0,23
5	р. Лоша, н.п. Гервяты	30.03.2017	2,30±0,23

Окончание табл. 2

Ending table 2

№	Пункт наблюдений	Дата отбора	Объемная активность, Бк/л $A \pm \Delta$
6	р. Полпе, н.п. Чехи	30.03.2017	2,40±0,24
7	р. Страча, н.п. Ольховка	30.03.2017	2,40±0,24
8	колодец, н.п. Маркуны	30.03.2017	3,50±0,35
9	р. Виляя, н.п. Малые Свирянки	12.04.2017	2,70±0,27
10	р. Виляя, н.п. Мужилы	12.04.2017	2,40±0,24
11	р. Виляя, н.п. Михалишки	13.04.2017	2,80±0,28
12	р. Гозовка, н.п. Гоза	13.04.2017	2,30±0,23
13	колодец, н.п. Валеюны	14.04.2017	3,50±0,35
14	р. Лоша, н.п. Герваты	17.05.2017	2,70±0,27
15	р. Полпе, н.п. Чехи	17.05.2017	2,60±0,26
16	р. Страча, н.п. Ольховка	17.05.2017	2,70±0,27
17	колодец, н.п. Шульники	17.05.2017	3,20±0,32
18	р. Виляя, н.п. Малые Свирянки	06.06.2017	2,80±0,28
19	р. Виляя, н.п. Мужилы	06.06.2017	2,60±0,26
20	р. Виляя, н.п. Михалишки	07.06.2017	2,70±0,27
21	р. Гозовка, н.п. Гоза	07.06.2017	2,90±0,29
22	р. Лоша, н.п. Герваты	11.07.2017	2,90±0,29
23	р. Полпе, н.п. Чехи	12.07.2017	3,00±0,30
24	р. Страча, н.п. Ольховка	13.07.2017	2,80±0,28
25	скважина № 1 на БелАЭС	04.07.2017	3,30±0,33
26	скважина № 2 на БелАЭС	04.07.2017	3,40±0,34
27	скважина № 3 на БелАЭС	04.07.2017	3,50±0,35
28	скважина № 4 на БелАЭС	04.07.2017	3,30±0,33
29	р. Виляя, н.п. Малые Свирянки	12.09.2017	2,60±0,26
30	колодец, н.п. Довняришки	12.09.2017	3,30±0,33
31	р. Виляя, н.п. Мужилы	13.09.2017	2,70±0,27
32	р. Виляя, н.п. Михалишки	14.09.2017	2,80±0,28
33	р. Гозовка, н.п. Гоза	15.09.2017	2,60±0,26
34	р. Лоша, н.п. Герваты	18.10.2017	2,70±0,27
35	р. Полпе, н.п. Чехи	18.10.2017	2,50±0,25
36	р. Страча, н.п. Ольховка	19.10.2017	2,70±0,27
37	колодец, н.п. Нидяны	19.10.2017	3,40±0,34
38	р. Виляя, н.п. Малые Свирянки	08.11.2017	2,30±0,23
39	р. Виляя, н.п. Мужилы	08.11.2017	2,40±0,24
40	р. Виляя, н.п. Михалишки	09.11.2017	2,60±0,26
41	колодец, н.п. Малые Свирянки	09.11.2017	3,40±0,34
42	р. Гозовка, н.п. Гоза	10.11.2017	2,90
43	р. Лоша, н.п. Герваты	04.12.2017	2,50
44	р. Полпе, н.п. Чехи	04.12.2017	2,30
45	р. Страча, н.п. Ольховка	04.12.2017	2,50

* Δ – основная относительная погрешность метода 10 % при доверительном интервале 0,95.

Таким образом, среднее значение удельной активности трития в гидрографических объектах в районе строительства Белорусской АЭС составляет $2,8 \pm 0,2$, что соответствует глобальным выпадениям для данных широт.

Заключение

В результате выполнения работы были исследованы пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки Белорусской АЭС: из р. Виляя у н.п. Малые Свирянки, н.п. Мужилы (сброс воды с АЭС), н.п. Михалишки; из р. Полпа у н.п. Чехи; из р. Газовка у н.п. Гоза; из р. Лоша у н.п. Герваты, а также были исследованы пробы питьевой воды (колодцы) в н.п. Маркуны, н.п. Валеюны, н.п. Шульники, н.п. Нидяны, н.п. Довняришки.

Определена удельная активность трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС. При этом за весь цикл наблюдений испытано 62 пробы поверхностных вод, отобранных на пунктах в зоне наблюдения Белорусской АЭС, выполнено более 310 прямых измерений длительностью 300–500 мин (до статистической погрешности не более 5 %) и 11 электролитических обогащений длительностью по 30–40 ч.

Результаты статистической обработки данных свидетельствуют, что для данных, полученных на радиометре TRI-CARB 2910TR, стандартное отклонение повторяемости 0,45 %, а стандартное отклонение промежуточной прецизионности 0,53 %. Это подтверждает высокую точность и достоверность полученных экспериментальных данных, следовательно, надежность и корректность разработанной методики определения удельной активности трития в воде.

Показано, что среднее значение удельной активности трития для водоемов в 30-километровой зоны строительства Белорусской АЭС составило $2,8 \pm 0,2$ Бк/л, а для колодцев и скважин – $3,4 \pm 0,3$ Бк/л. Последние являются накопителями трития, поэтому их загрязнение этим радионуклидом несколько выше.

Таким образом, можно сделать вывод, что удельная активность трития в воде в указанных водоемах соответствует глобальным выпадениям для данных широт. Следует отметить, что для всестороннего исследования необходимо проведение мониторинговых мероприятий по определению трития в подземных водах, в питьевой воде (в водозаборах, колонках, колодцах) и в атмосферных осадках (дождевая вода, снег). На этой основе возможно спрогнозировать дозовые нагрузки от трития на население (дети, подростки, взрослые) при его поступлении в организм людей на момент снятия Белорусской АЭС с эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Миронов В. П., Журавков В. В., Кудина О. П. Методика определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS: МВИ.МН 4143. Минск, 2011.
2. UNSCEAR 2016. Reports to the General Assembly with Scientific Annexes. Biological effects of selected internal emitters. New York, 2016.
3. Журавков В. В., Миронов В. П., Скибинская А. Н. Оценка концентрации трития в водных объектах в районе строительства Белорусской АЭС на основании прямых измерений // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2017): материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 2017. Т. 2. С. 72–75.
4. Скибинская, А. Н., Журавков В. В., Миронов В. П. Мониторинговые исследования трития в открытых водоемах в зоне размещения Белорусской АЭС // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: 18-я междунар. науч. конф. 17–18 мая 2018. Минск, 2018. Ч. 2. С. 240–241.
5. Журавков В. В., Миронов В. П., Позняк С. С., Скибинская А. Н. Фоновые уровни содержания трития в открытых гидрографических объектах в районе строительства Белорусской АЭС // Актуальные проблемы экологии – 2017: материалы XII междунар. науч.-практ. конф. Гродно, 2017. С. 198–200.

References

1. Mironov V. P., Zhuravkov V. V., Kudina O.P. [The method of determining the specific activity of tritium in water using liquid scintillation radiometers of the TRI-CARB and QUANTULUS series: МВИ.МН 4143]. Minsk, 2011 (in Russ.).
2. UNSCEAR 2016. Reports to the General Assembly with Scientific Annexes. Biological effects of selected internal emitters. New York, 2016.
3. Zhuravkov V. V., Mironov V. P., Skibinskaya A. N. [Estimation of tritium concentration in water bodies in the area of the Belarusian AES construction based on direct measurements]. *Science, education, production in solving environmental problems (Ecology 2017)*: materials of the XIII intern. scientific and technical conf. Ufa, 2017. Vol. 2. P. 72–75 (in Russ.).
4. Skibinskaya A. N., Zhuravkov V.V., Mironov V.P. [Monitoring studies of tritium in open water bodies in the location zone of the Belarusian NPP]. *Sakharov Readings 2018: Ecological Problems of the 21 Century*: 18th intern. scientific conf. May 17–18, 2018. Minsk, 2018. Part 2. P. 240–241 (in Russ.).
5. Zhuravkov V. V., Mironov V. P., Poznyak S. S., et al. [Background levels of tritium in open hydrographic sites in the construction area of the Belarusian NPP]. *Actual Problems of Ecology – 2017*: materials of the XII intern. scientific and pract. conf. Grodno, 2017. P. 198–200 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 09.11.2018.
Received by editorial board 09.11.2018.

УДК 632.752.3:591.65(476)

ПОВРЕЖДАЮЩИЕ ДЕКОРАТИВНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ ТЕРАТФОРМИРУЮЩИЕ ФИТОФАГИ, ОСУЩЕСТВИВШИЕ ИНВАЗИЮ НА ТЕРРИТОРИЮ БЕЛАРУСИ В ТЕКУЩЕМ СТОЛЕТИИ

Д. Л. ПЕТРОВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Констатируется пополнение в текущем столетии рецетной фауны Беларуси 6 видами тератформирующих членистоногих: 2 видами эриофиоидных клещей (Acari: Acariformes: Eriophyidae), в числе которых ореховый войлочный – *Aceria erinea* (Nalepa, 1891) и ореховый галловый (бородавчатый) – *Aceria tristriata* (Nalepa, 1890), а также 4 видами насекомых, среди которых самшитовая листолюбка – *Psylla buxi* (Linnaeus, 1758); Insecta: Sternorhyncha: Psyllidae, алычово-дремовая тля (*Brachycaudus divaricatae* (Shaposhnikov, 1956)); Insecta: Sternorhyncha: Aphidida, белоакациевая листовая – *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847); Insecta: Diptera: Cecidomyiidae и гледичиевая – *Dasineura gleditchiae* (Osten Sacken, 1866); Insecta: Diptera: Cecidomyiidae галлицы. Все они вредят декоративным деревьям и кустарникам в зеленых насаждениях и должны быть отнесены к числу инвазивных. Три вида – *A. erinea*, *B. divaricatae* и *O. robiniae* – уже включены в издание «Черная книга инвазивных видов животных Беларуси» (2016 г.). Выполнены расчеты показателей физиологической вредоносности и общей вредоносности этих вредителей декоративных зеленых насаждений в условиях Беларуси. Максимальным (153 балла) значение показателя общей вредоносности оказалось для белоакациевой листовой галлицы (*O. robiniae*), минимальным (2,4 балла) – для гледичиевой галлицы (*D. gleditchiae*), что хорошо согласуется с распространенностью их растений-хозяев в зеленых насаждениях регионов Беларуси.

Ключевые слова: чужеродные виды; эриофиоидные клещи; листолюбки; тли; галлицы; биологические инвазии; рецетная фауна.

THE TERATOFORMING PHYTOPHAGOUS ARTHROPODS DAMAGING ORNAMENTAL WOODY PLANTS, EXPANDED ON THE TERRITORY OF BELARUS IN THE CURRENT CENTURY

D. L. PETROV^a

^aBelarusian State University,
4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

During the current century the recent fauna of Belarus has been increased by 6 species of gall-forming arthropods: 2 species of eriophyoid mites (Acari: Acariformes: Eriophyidae): walnut leaf gall mite – *Aceria erinea* (Nalepa, 1891) and walnut blister mite – *Aceria tristriata* (Nalepa, 1890), and 4 insect species, boxwood psyllid – *Psylla buxi* (Linnaeus, 1758); Insecta: Sternorhyncha: Psyllidae, cherry plum aphid – *Brachycaudus divaricatae* (Shaposhnikov, 1956); Insecta: Sternorhyncha: Aphidida, black locust gall midge – *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847); Insecta: Diptera: Cecidomyiidae and honey locust pod gall midge – *Dasineura gleditchiae* (Osten Sacken, 1866); Insecta: Diptera:

Образец цитирования:

Петров Д. Л. Повреждающие декоративные древесные растения тератформирующие фитофаги, осуществившие инвазию на территорию Беларуси в текущем столетии // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 24–31.

For citation:

Petrov D. L. The teratoforming phytophagous arthropods damaging ornamental woody plants, expanded on the territory of Belarus in the current century. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 24–31 (in Russ.).

Автор:

Дмитрий Леонидович Петров – старший преподаватель кафедры зоологии биологического факультета.

Author:

Dmitry L. Petrov, senior lecturer at the department of zoology, faculty of biology.
dlpetrov@tut.by

Cecidomyiidae. All of them are pests of ornamental trees and shrubs in green areas and should be considered as invasive. Three species – *A. erinea*, *B. divaricatae* and *O. robiniae* have been already included in published in 2016 «Black book of invasive animals of Belarus». The calculations of physiological and general harmfulness of these pests of ornamental trees and shrubs under the conditions of Belarus have been made. It turned out that maximum (153 points) harmfulness degree index belongs to *O. robiniae*, minimum (2.4 points) – to *D. gleditschiae*, that goes well with distribution their host plants in green areas of Belarusian regions.

Key words: alien species; eriophid mites; psyllids; aphids; gall midges; biological invasions; recent fauna.

Введение

Тератформирующие членистоногие относятся к группе фитофагов, которые в процессе своей жизнедеятельности оказывают влияние на процессы роста и развития растительных тканей, инициируя формирование разного рода новообразований. Чаще всего это проявление локальной гипертрофии и гиперплазии клеток и тканей, что ведет к формированию различной формы наростов, вздутий, деформаций, щеток, войлочковых и других терат на листовых пластинках, черешках, побегах, корнях, цветках или плодах растений. В условиях Беларуси многие тератформирующие насекомые и клещи являются опасными вредителями декоративных зеленых насаждений [1–3]. Поврежденные растения зачастую сильно контрастируют на фоне здоровых и выделяются деформированными обесцвеченными или хлоротично-желтыми листовыми пластинками, наличием специфичным образом окрашенных эринеумов и терат других типов.

Проблема биологических инвазий в последние десятилетия приобрела глобальный характер [4]. Актуальна она и для Республики Беларусь, через территорию которой пролегают трансконтинентальные и трансрегиональные транспортные коридоры. Практическая значимость проблемы обусловила подготовку и издание в 2016 г. «Черной книги инвазивных видов животных Беларуси» [5]. Среди внесенных в нее инвайдеров большое число фитофагов – вредителей декоративных древесных насаждений.

Дендрофильные тератформирующие членистоногие фауны Беларуси интенсивно исследовались с конца 90-х годов прошлого века [6–8], что позволило констатировать в ее составе 243 вида насекомых и клещей, развивающихся на аборигенных и интродуцированных древесных растениях [9]. При этом по состоянию на начало текущего столетия ряд видов эриофиоидных клещей, тлей, представителей других таксонов насекомых причислены к адвентивной фракции рецетной фауны Беларуси [10]. В последующие годы инвазионные процессы лишь интенсифицировались, и за прошедший период мы можем констатировать вхождение в состав комплекса инвазивных членистоногих Беларуси еще 6 чужеродных для фауны видов насекомых и клещей.

Цель исследования – изложение информации о распространении, особенностях биологии и экологии в условиях региона, а также характере вредоносности инвазивных видов дендрофильных тератформирующих членистоногих, осуществивших экспансию на территорию Беларуси в текущем столетии.

Материалы и методы исследования

В основу данной работы положены материалы целенаправленных исследований тератформирующих членистоногих, выполняемых с 2000 г. в условиях разнотипных естественных и антропогенизированных ландшафтов на территории всех ландшафтных провинций и административных областей Беларуси, прежде всего – уличных и парковых зеленых насаждений городов и других населенных пунктов страны. Зооценологические обследования, сбор энтомологических, акарологических и гербарных материалов осуществлялся путем обследования на предмет наличия различных тератоморф на аборигенных и интродуцированных древесных растениях в условиях разнотипных зеленых насаждений, а также дендропитомников.

Тератоморфы коллектировали для дальнейшей камеральной обработки. Поврежденные листья высушивали аналогично обычным гербарным материалам [11]. Крупные объемные галлы во избежание их деформации сушили в мелком песке. Обнаруживаемых личинок насекомых фиксировали в 70–75° этаноле. Высушенные образцы монтировали в зооценологические коллекции. Определение таксономической принадлежности тератформирующих членистоногих вели по специальным руководствам, в том числе размещенным в удаленном доступе на специализированных интернет-порталах [12–15].

Для оценки уровня вредоносности инвазивных тератформирующих членистоногих в декоративных древесных насаждениях был использован подход, разработанный в свое время для оценки вредоносности кокцид [16] и позднее модифицированный нами применительно к тератформирующим фитофагам (а именно, тлям [17]). В частности, были использованы следующие характеристики вредоносности галлообразователей:

1. Тип питания: камбийповреждающие (питающиеся на побегах) – 1 балл; не повреждающие камбий (филлобионтные и иные формы) – 0,5 балла.

2. Продолжительность питания: каждые 20 дней – 1 балл для лиственных пород, 10 дней – 1 балл для хвойных, у которых смена ассимилирующих органов происходит реже раза в год.

3. Локализация на растениях: принадлежность к немеристемофильным формам (повреждаются листья в любой части кроны) определяет начисление 1 балла, принадлежность к меристемофильным формам (фитофаги ограничены в своем размещении на растениях длительно растущими ветвями и побегами и локализируются лишь в отдельных частях кроны) – 0,5 балла.

4. Характер и последствия нанесенных повреждений: малопреодолимое в текущем вегетационном сезоне снижение декоративности – 3 балла; временное снижение декоративности, преодолимое в течение вегетационного сезона вследствие выборочного опадения листвы, отрастания побегов – 2 балла; малозаметное снижение декоративности, когда повреждения выявляются лишь в ходе целенаправленного осмотра – 1 балл.

5. Распространенность фитофагов в насаждениях (экологическая пластичность): фоновым (распространенным повсеместно) видам присваивается 3 балла, видам с ограниченным распространением – 2 балла, рецедентным (спорадично регистрируемым) – 1 балл.

6. Распространенность и ценность повреждаемых растений: повреждаются распространенные и ценные по декоративным свойствам растения – 3 балла; повреждаются малораспространенные, но ценные растения – 2 балла; повреждаются распространенные малоценные растения – 1 балл; повреждаются малораспространенные малоценные растения – 0,5 балла.

7. Наличие и регулярность вспышек массового размножения: вид в условиях зеленых насаждений регулярно дает вспышки массового размножения – 3 балла; вид в условиях зеленых насаждений эпизодически дает вспышки массового размножения – 2 балла; в условиях зеленых насаждений вспышки массового размножения не наблюдаются – 1 балл.

Произведение первых двух параметров дает показатель физиологически обусловленной вредоопасности, произведение остальных четырех – показатель снижения декоративности по экологически обусловленным аспектам. Для расчета общей вредоносности вышеуказанные показатели следует перемножить между собой и умножить на показатель регулярности вспышек массового размножения в течение сезона [17].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований можно констатировать, что за последние два десятилетия фауна Беларуси пополнилась 2 видами галловых клещей (Acari: Eriophyidae) – *Aceria erinea* (Nalepa, 1891) и *Aceria tristriata* (Nalepa, 1890), а также 4 видами тератформирующих насекомых – *Psylla buxi* (Linnaeus, 1758); Sternorhyncha: Psyllidae, *Brachycaudus divaricatae* (Shaposhnikov, 1956); Sternorhyncha: Aphidida, *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847) и *Dasineura gleditchiae* (Osten Sacken, 1866); Diptera: Cecidomyiidae. Представляется целесообразным в форме аннотированного списка дать характеристику их распространения, некоторых особенностей биологии и экологии в условиях региона, характера вредоносности для декоративных растений.

Ореховый войлочный клещ (*Aceria erinea* (Nalepa, 1891); Acariformes: Eriophyidae)

Данный тератформирующий клещ принадлежит к числу специализированных фитофагов ореха грецкого (*Juglans regia* L.; Juglandaceae). Иницирует формирование характерных эринеумов: участки листовой пластинки выпячиваются, образуя на верхней стороне выпуклости размером с горошину, фасолину, боб или крупнее, снизу им соответствуют вдавленности. Поверхность последних выглядит бело-, светло-окрашенной за счет густого войлочка. Клещи живут среди волосков такого войлочка, а карманообразные выпячивания предоставляют им дополнительную защиту от дождя, ветра, неблагоприятного воздействия других факторов среды. Зимуют клещи у основания почек, а также в трещинах коры стволов и ветвей деревьев грецкого ореха. Поврежденные листовые пластинки деформируются, образовавшиеся выпуклости приобретают более светлую, чем неповрежденные части листа, зелено-желтую окраску, что значительно снижает декоративные качества растений. Уровень поврежденности отдельных деревьев может быть достаточно высок, на что обращается внимание и в публикациях зарубежных авторов [18]. В декоративных зеленых насаждениях основным результатом повреждения растений грецкого ореха ореховым войлочным клещом является снижение их эстетической ценности, поскольку контрастирующие окраской новообразования хорошо заметны стороннему наблюдателю. Для посадок *J. regia* как орехоплодной культуры повреждения *A. erinea* имеют очевидное хозяйственно-экономическое значение, поскольку ведут к снижению урожайности, а в питомниках – задержке роста саженцев, задержке достижения ими стандартных параметров, а значит – снижению рентабельности производства. В этом аспекте большое внимание изучению *A. erinea* уделяется в Турции [19].

В Республике Беларусь в силу ограниченности хозяйственных посадок грецкого ореха большую значимость имеет вредоносность орехового войлочного клеща в декоративных зеленых насаждениях. Однако высокий общий уровень вредоносности фитофага послужил основанием для включения этого вида в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [5]. Поскольку ореховый войлочный клещ является специализированным фитофагом *J. regia*, естественно сложившийся ареал которого был ограничен горными регионами Центральной Азии от Восточного Туркестана и прилегающих районов собственно Китая до Восточных областей Турции и Южного Закавказья, *A. erinea* является чужеродным для фауны Европы видом, который, вследствие высокой вредоносности, должен быть отнесен к числу инвазивных. В настоящее время вид имеет субкосмополитное распространение, будучи известен также из других регионов Европы, нетропических регионов Азии, Америки, Австралии и Новой Зеландии [20]. В сопредельной Беларуси Украине отмечен в 2009 г. [21], в нашей стране – с 2012 г. Регистрируется sporadично, преимущественно в южных и центральных районах, где произрастает растение-хозяин, принадлежащее к числу достаточно теплолюбивых культур [22]. Распространение инвайдера осуществляется ветром (характерным является разлет клещей на паутинках), с посадочным материалом и транспортом. С расширением географии возделывания грецкого ореха данный инвазивный вид будет также расширять свое распространение.

Ореховый галловый (бородавчатый) клещ (*Aceria tristriata* (Nalepa, 1890); *Acariformes: Eriophyidae*)

Принадлежит к числу специализированных фитофагов ореха грецкого (*J. regia*). Иницирует формирование характерных эринеумов – бородавчатых галлов, локализирующихся на листовых пластинках. Они выделяются окраской, однако в силу мелких (2–3 мм) размеров мало заметны стороннему наблюдателю. Бородавкоподобные узелки выступают с обеих сторон листовых пластинок, будучи лучше заметны снизу. Клещи живут во внутренней камере, где защищены от ветра, осадков, хищников, неблагоприятного воздействия других факторов среды.

Зимуют клещи у основания почек и в трещинах коры ветвей грецкого ореха, характерным является образование осенью скоплений на почках в виде «ржавого налета».

Уровень поврежденности отдельных экземпляров грецкого ореха может быть весьма высок. Обычным является совместное заселение листовых пластинок *A. erinea* и *A. tristriata*. В декоративных зеленых насаждениях массовое размножение фитофага и формирование многочисленных эринеумов ведет к ухудшению эстетических качеств растений. Вредит ореху грецкому и как орехоплодной культуре. В Республике Беларусь, в связи с ограниченным возделыванием грецкого ореха в данном качестве, большую значимость имеет вредоносность орехового бородавчатого клеща в декоративных зеленых насаждениях.

Ореховый бородавчатый клещ, как и указывалось ранее, является специализированным фитофагом *J. regia*, естественно исторически сложившийся ареал которого лежит вне границ Европы. Следовательно, *A. tristriata* является чужеродным для ее фауны видом, который, вследствие очевидной вредоносности, должен быть отнесен к числу инвазивных. В Беларуси зарегистрирован в текущем десятилетии (коллекционные материалы Ф. В. Сауткина). В настоящее время отмечен в Южной и Средней Европе, Малой и Центральной Азии [20]. В сопредельной Беларуси Украине отмечен с 2013 г. [21]. Отсутствие регистраций для Польши и Румынии определяется, скорее всего, отсутствием целенаправленных исследований.

Распространение инвайдера осуществляется ветром (на паутинках), с посадочным материалом и транспортом. С расширением географии возделывания грецкого ореха этот инвазивный вид будет также расширять свое распространение.

Самшитовая листоблошка (*Psylla buxi* (Linnaeus, 1758); *Sternorrhyncha: Psyllidae*)

Данный представитель надотряда гемиптероидных насекомых (Hemipteroidea) является специализированным фитофагом самшита вечнозеленого (*Buxus sempervirens* L.; Buxaceae). Формирование открытых галлов на вершинах растущих побегов в начале вегетационного сезона иницируют личинки листоблошек, отрождающиеся из зимовавших у основания почек яиц. Питание насекомых, которые размещаются преимущественно вдоль центральной жилки, ведет к сворачиванию листовой пластинки в сторону побега. Деформируемые листья, налегая краями друг на друга, образуют рыхлый ореховидный открытый галл, формирование которого невозможно без кумулятивного эффекта деятельности многих особей.

Повреждение растений *P. buxi* ведет к досрочному прекращению роста побегов, их вершины могут подвергаться хлоротизации, галлы остаются на концах побегов в течение длительного времени, что ведет к снижению эстетической ценности декоративных посадок. В питомниках повреждение вредителем приводит к увеличению сроков выращивания саженцев и снижению качества продукции. Высокий

общий уровень вредоносности *P. bixi* послужил основанием для включения этого вида в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [5].

В настоящее время этот фитофаг указан для большинства стран Европейского континента, в том числе Британских островов и Фенноскандии, включая сопредельные Украину и Польшу [20].

Самшитовая листоблошка отмечается спорадично на территории всех регионов страны и районов интродукции растений в Беларуси, что связано со спорадичным произрастанием *B. sempervirens* в зеленых насаждениях. Характерным является присутствие вредителя в зеленых насаждениях железнодорожных станций и остановочных пунктов и отсутствие в локальных посадках частных домовладений, что указывает на распространение фитофага с посадочным материалом из конкретных питомников. Эффективная организация фитосанитарных мероприятий позволила бы существенно улучшить ситуацию с дальнейшим распространением инвайдера.

Алычево-дремовая тля (*Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov, 1956; Sternorrhyncha: Aphidida)

Основным (первичным) растением-хозяином алычево-дремовой, или алычевой тли является слива растопыренная, или алыча (*Prunus cerasifera* Ehrh., syn. *Prunus divaricata* Ledeb.). Колонизация фитофагами растущих побегов и листовых пластинок кормового растения ведет к их деформации и остановке роста. В условиях Беларуси вид однодомен на алыче [5], тогда как в границах первичного, естественно исторически сложившегося ареала факультативно мигрирует [23] на дрему белую (*Silene latifolia* Poir., syn. *Melandrium album* (Mill.) Garcke). Биологический цикл в условиях региона – полный сокращенный однодомный, уже с конца июня в колониях присутствуют самцы и яйцекладущие самки; однако на «жировочных» побегах, не прекращающих свой рост по завершении первой волны роста большинства побегов, колонии продолжают существование до конца октября. Неправильный уход за посадками, в частности, использование алычи в подстригаемых изгородях, создает предпосылки для вспышек массового размножения вредителя.

В декоративных зеленых насаждениях деформированные вследствие повреждения *B. divaricatae* листья и побеги визуально хорошо выявляемы, и это ведет к снижению эстетических качеств посадок. В плодоносящих садах вредоносность *B. divaricatae* при правильном уходе минимальна. В декоративных и садовых дендропитомниках повреждения алычевой тлей ведут к снижению прироста саженцев, ухудшению качества товарной продукции. Высокий уровень вредоносности фитофага послужил основанием для его включения в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [5].

Алычевая тля является специализированным фитофагом алычи, естественно исторически сложившийся ареал которой ограничен Южным Закавказьем и прилегающими к нему территориями Малой Азии, прикаспийских регионов Передней и Центральной Азии. Поэтому *B. divaricatae* является чужеродным для фауны Европы видом. Его экспансия на территорию континента осуществлялась сначала на запад по странам Средиземноморья, а затем с запада на восток севернее Альп, ближе к побережью Балтики [24]. Границь Беларуси инвайдер достиг в первом десятилетии текущего столетия и к настоящему времени завершил расселение по территории страны, отмечаясь повсеместно, где произрастает его растение-хозяин [5]. Помимо прямых последствий инвазии для декоративных и садовых посадок, имеют место и отдаленные экологические последствия в форме перестройки сложившихся комплексов сливовых тлей в пользу таковых с доминированием *B. divaricatae* [25]. Корректный уход за растениями алычи, исключающий массовое появление «волчковой» и иной поросли, способен существенно снизить вредоносность инвайдера в насаждениях.

Белоакациевая листовая галлица (*Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847); Diptera: Cecidomyiidae)

Повреждаются растения рода *Robinia* L. (Fabaceae), прежде всего робиния обыкновенная, или белая акация (*Robinia pseudacacia* L.). Личинки развиваются внутри галлов в форме валиков, образованных закручиванием краев листовых пластинок. Пленочная влага непременно должна присутствовать внутри камеры, и утрата относительной герметичности делает ее непригодной для обитания личинок галлиц. Стенки галлов выделяются светло-зеленой, а затем хлоротичной окраской, после завершения развития личинок – некротизируются. Этим определяется некомпенсируемость повреждений декоративных растений в течение текущего вегетационного сезона. Высокий уровень вредоносности обусловил включение вида в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [5]. В декоративных насаждениях выделяющиеся окраской тераты легко обнаруживают себя, что сказывается на эстетических качествах посадок. Вредоносность фитофага в питомниках незначительна.

Данный инвайдер североамериканского происхождения за последние десятилетия приобрел космополитное распространение. Экспансия инвайдера в Центральной и Восточной Европе была стремительной: в 2006 г. повреждения листовых пластинок белой акации были зарегистрированы в зеленых насаждениях Киева [26], в 2007 г. – в Польше [27], а в Республике Беларусь – в 2009 г. в окрестностях железнодорожного остановочного пункта Мошны на территории Октябрьского р-на Гомельской обл. [28], то есть в глубине территории страны. К настоящему времени этот чужеродный для фауны Европы фитофаг регистрируется по всей территории Беларуси. Местами уровень заселенности растений высок, что определяет катастрофический уровень потери растениями декоративности.

Гледичиевая галлица (*Dasineura gleditchiae* (Osten Sacken, 1866); Diptera: Cecidomyiidae)

Является специализированным фитофагом гледичии обыкновенной (*Gleditsia triacanthos* L.). Развитие личинок на листочках сложного листа гледичии приводит к формированию «стручкоподобных» галлов, которые легко бросаются в глаза стороннему наблюдателю. Характерным является окукливание личинок непосредственно в галлах, которые вскоре опадают, что ведет к оголению кроны.

В силу специализации *D. gleditchiae* к развитию на гледичии, вид должен быть отнесен к числу чужеродных для фауны региона. К настоящему времени единственная точка регистрации гледичиевой галлицы – ул. Энгельса в г. Бресте [29]. Учитывая единичность мест произрастания гледичии в Беларуси [30; 31], опасность данного инвайдера для зеленых насаждений страны минимальна.

Выполненные расчеты показателей общей вредоносности и физиологической вредоносности вышеперечисленных фитофагов в условиях зеленых насаждений Беларуси (таблица) позволяют констатировать близкие значения физиологической вредоносности (3,25–4,25 баллов) и сильно варьирующие – общей вредоносности.

Таблица

Расчетные показатели физиологической вредоносности и общей вредоносности инвазивных тератформирующих фитофагов в условиях декоративных зеленых насаждений Беларуси

Table

Calculation indexes of physiological harm ability and general harmfulness of invasive teratofarming phytophagous arthropods under the conditions of ornamental green areas in Belarus

Тератформирующие фитофаги	Тип питания (балл)	Период активности (сутки)	Период активности (балл)	Физиологическая вредоносность (балл)	Локализация на растениях (балл)	Характер и последствия наносимых повреждений (балл)	Распространенность фитофагов в насаждениях (балл)	Распространенность и ценность повреждаемых растений (балл)	Вредоносность в аспекте снижения декоративности (балл)	Наличие и регулярность вспышек массового размножения (балл)	Общая вредоносность (балл)
<i>Aceria erinea</i>	0,5	160	8	4	1	3	1	2	6	2	48
<i>Aceria tristriata</i>	0,5	160	8	4	1	1	1	2	2	2	16
<i>Psylla buxi</i>	0,5	170	8,5	4,25	0,5	2	2	3	6	2	51
<i>Brachycaudus divaricatae</i>	0,5	160	8	4	0,5	3	3	1	4,5	3	54
<i>Obolodiplosis robiniae</i>	0,5	170	8,5	4,25	1	3	2	3	18	2	153
<i>Dasineura gleditchiae</i>	0,5	130	6,5	3,25	0,5	3	1	0,5	0,75	1	2,4

Максимальное значение показателя общей вредоносности (153 балла) получено для белоакациевой листовой галлицы, что определяется хорошей выявляемостью повреждений сторонними наблюдателями, широкой распространенностью фитофага, представленностью и значением растения-хозяина в декоративных

зеленых насаждениях. Минимально оно (2,4 балла) для гледичиевой галлицы, что хорошо согласуется с минимальной распространенностью растения-хозяина, гледичии обыкновенной, в зеленых насаждениях.

Заключение

По результатам выполненных исследований сделаны следующие выводы:

1. В текущем столетии адвентивная фракция фауны Беларуси пополнилась 6 видами тератформирующих фитофагов: 2 видами акариформных клещей (Chelicerata: Acari: Acariformes) и 4 видами насекомых (Insecta: Sternorrhyncha, Diptera), натурализовавшихся в условиях регионов страны и ставших инвазивными вредителями древесных растений в декоративных насаждениях.

2. Кормовыми растениями инвазивных видов фитофагов являются исключительно интродуцированные растения, поскольку основной предпосылкой осуществления их инвазий послужила фитоинтродукционная деятельность человека.

3. Выполненная количественная оценка вредоносности инвайдеров в качестве вредителей декоративных зеленых насаждений позволила констатировать максимальное значение (153 балла) данного показателя для белоакациевой галлицы (*Obolodiplosis robiniae*) и минимальное (2,4 балла) – для гледичиевой галлицы (*Dasineura gleditchiae*).

Библиографические ссылки

1. Горленко С. В., Панько Н. А. Вредители и болезни интродуцированных растений. Минск, 1967.
2. Горленко С. В., Блинов А. И., Панько Н. А. Устойчивость древесных интродуцентов к биотическим факторам. Минск, 1988.
3. Петров Д. Л., Буга С. В. Тератформирующие членистоногие – вредители зеленых насаждений Беларуси. Минск, 2008.
4. Семенченко В. П. Чужеродные виды животных в естественных экосистемах Беларуси // Наука и инновации. 2018. № 7 (185). С. 20–25.
5. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / ред. В. П. Семенченко. Минск, 2016.
6. Петров Д. Л., Мелешко Ж. Е., Буга С. В. Галлоформирующие жесткокрылые (Insecta: Coleoptera) фауны Беларуси // Евразийский энтомологический журнал. 2003. № 2 (2). С. 101–108.
7. Петров Д. Л. Фоновые виды тератформирующих насекомых Беларуси // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География. 2004. № 2. С. 63–68.
8. Петров Д. Л. Тератформирующие членистоногие древесных растений Беларуси: Деп. в ГУ «БелИСА» 24.07.2006 г., № Д200651. Минск, 2006.
9. Петров Д. Л. Таксономическая структура фауны дендрофильных тератформирующих членистоногих Беларуси. Зоологические чтения 2012: материалы респ. науч.-практ. конф., посвящ. 250-летию проф. С. Б. Юндзилла (1761–1847) Гродно, 2–4 марта 2012 г. Гродно, 2012. С. 124–126.
10. Буга С. В. Структура и экологические основы формирования фауны дендрофильных тлей Беларуси. Минск, 2002.
11. Бриссон Д., Форман Л. Гербарное дело. Кью, 1995.
12. Гусев В. И., Римский-Корсаков М. Н. Определитель повреждений лесных и декоративных деревьев и кустарников Европейской части СССР. Москва; Ленинград, 1951.
13. Насекомые-галлообразователи культурных и дикорастущих растений европейской части СССР. Двукрылые / Е. Н. Савченко (ред.). Киев, 1989.
14. Зерова М. Д., Дьякончук Л. А., Ермоленко В. М. Насекомые-галлообразователи культурных и дикорастущих растений европейской части СССР. Перепончатокрылые. Киев, 1988.
15. Насекомые-галлообразователи культурных и дикорастущих растений европейской части СССР. Равнокрылые, чешуекрылые, жесткокрылые, полужесткокрылые / ред. Е. Н. Савченко. Киев, 1991.
16. Куликова Е. Г. Оценка вредоносности кокцид // Защита растений. 1987. № 10. С. 27–28.
17. Петров Д. Л., Буга С. В. Комплексная оценка уровня вредоносности тератформирующих тлей в декоративных древесных насаждениях // Защита растений. 2008. № 32. С. 305–315.
18. Попов В. Г. Основные вредители декоративных насаждений Донецкой области (2000–2009 гг.) и борьба с ними // Промышленная ботаника. 2009. № 9. С. 213–219.
19. Denizhan E. Eriophyid mites of walnut trees (*Juglans regia* L.) and their predators in Ankara. Üzüncü İl Univ // J. Agric. Sci. 2009. № 19(1). 33–37.
20. de Jong Y. et al., compilers. Fauna Europaea – all European animal species on the web // Biodivers. Data J. 2014. № 2. e4034.
21. UkrBIN: Ukrainian Biodiversity Information Network [Internet]. URL: <http://www.ukrbin.com>. (дата обращения: 10.01.2019).
22. Стрела К. М. Орех грецкий. Киев, 1990.
23. Шапошников Г. Х. Филогенетическое обоснование системы короткохвостых тлей (Anuraphidina) с учетом их связей с растениями // Тр. зоол. ин-та АН СССР. 1956. № 23. С. 215–320.
24. Rakauskas R., Turčinavičienė J. *Brachycaudus divaricatae* (Shaposhnikov, 1956) in Europe: biology, morphology and distribution, with comments on its taxonomic position (Hemiptera, Sternorrhyncha: Aphididae) // Mitteilungen aus dem Mus. für Naturkunde Berl Zool. Reihe. 2006. № 82(2). С. 248–260.
25. Rakauskas R., Havelka J., Zaremba A. Plum (*Prunus* spp.) aphid guild (Hemiptera: Sternorrhyncha, Aphididae) structure in Lithuania: any impact of an alien aphid species? // Zemdirb.-Agric. 2015. № 102 (1). С. 81–86.
26. Берест З. Л. Обнаружение галлицы *Obolodiplosis robiniae* (Diptera, Cecidomuiidae) в Украине // Вестник Зоологии. 2006. № 40 (6). С. 534.
27. Skrzypczyńska M. Gall midge *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847) – the new pest of *Robinia pseudoacacia* L. leaves in Poland // Sylwan. 2008. № 152 (10). С. 14–16.

28. Петров Д. Л. Дендрофильные галлообразующие двукрылые (Insecta: Diptera) фауны Беларуси // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География. 2010. № 1. С. 31–35.
29. Синчук О. В., Колбас А. П. Первая находка *Dasineura gleditchiae* (Osten Sacken, 1866) в Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2018. № 3. С. 85–88.
30. Федорук А. Т. Интродуцированные деревья и кустарники Западной части Белоруссии. Минск, 1972.
31. Федорук А. Т. Опыт интродукции древесных лиственных растений в Белоруссии. Минск, 1985.

References

1. Gorlenko S. V., Pan'ko N. A. [Pests and diseases of introduced plants]. Minsk, 1967 (in Russ.).
2. Gorlenko S. V., Blintsov A. I., Pan'ko N. A. [Resistance of introduced woody plants to biotic factors]. Minsk, 1998 (in Russ.).
3. Petrov D. L., Buga S. V. [Teratorming arthropods are pests of green areas in Belarus]. Minsk, 2008 (in Russ.).
4. Semenchenko V. P. [Alien species of animals in the natural ecosystems of Belarus]. *The Science and Innovations*. 2018. No 7(185). P. 20–25 (in Russ.).
5. Semenchenko V. P. (ed.). [The Black Book of Invasive Animals of Belarus]. Minsk, 2016 (in Russ.).
6. Petrov D. L., Meleshko Zh. E., Buga S. V. [Gall-forming beetles (Insecta: Coleoptera) of the fauna of Belarus]. *Evrasijskij Entomologicheskij Zhurnal*. 2003. No 2 (2). P. 101–108 (in Russ.).
7. Petrov D. L. [Common species of teratruucting insects of Belarus]. *Vestnik BSU. Series 2: Chemistry. Biology. Geography*. 2004. No 2. P. 63–68 (in Russ.).
8. [Teratoforming arthropods of woody plants of Belarus]: Dep. v GU «BelISA» 24.07.2006 g., No D200651 / D. L. Petrov. Minsk, 2006 (in Russ.).
9. Petrov D. L. [Taxonomic structure of the fauna of dendrophilous teratorming arthropods of Belarus]. *Zoologicheskie chteniya 2012: materialy resp. nauch.-prakt. konf., posvyashc. 250-letiyu prof. S. B. Yundzilla (1761–1847); 2–4 marta 2012 g., Grodno. Grodno*, 2012. P. 124–126 (in Russ.).
10. Buga S. V. [Structure and ecological basis of the formation of the fauna of dendrophilous aphids of Belarus]. Minsk, 2002 (in Russ.).
11. Bridson D., Foreman L. [The herbarium handbook: Revised Edition]. Kew, 1995 (in Russ.).
12. Gusev V. I., Rimskij-Korsakov M. N. [Determinant of damage to forest and ornamental trees and shrubs of the European part of the USSR]. Moscow; Leningrad, 1951 (in Russ.).
13. Savchenko E. N. (ed.). [Gall-forming insects of cultivated and wild plants of the European part of the USSR. Diptera]. Kiev, 1989 (in Russ.).
14. Zerova M. D., D'yakonchuk L. A., Ermolenko V. M. [Gall-forming insects of cultivated and wild plants of the European part of the USSR. Hymenoptera]. Kiev, 1988 (in Russ.).
15. Savchenko E. N. (ed.). [Gall-forming insects of cultivated and wild plants of the European part of the USSR. Homoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera]. Kiev, 1991 (in Russ.).
16. Kulikova E. G. [Assessment of the severity of Coccid]. *Zashchita rastenij*. 1987. No 10. P. 27–28 (in Russ.).
17. Petrov D. L., Buga S. V. [Complex estimation of teratogenic aphid pestfulness in ornamental green stands]. *Zashchita rastenij*. 2008. No 32. P. 305–315 (in Russ.).
18. Popov V. G. [The main pests of ornamental plantings in the Donetsk region (2000–2009) and the control of them]. *Promyshlennaya botanika*. 2009. No 9. P. 213–219 (in Russ.).
19. Denizhan E. Eriophyid mites of walnut trees (*Juglans regia* L.) and their predators in Ankara. *Üzüncü Il Univ. J. Agric. Sci*. 2009. No 19 (1). P. 33–37.
20. de Jong Y. et al. Fauna Europaea – all European animal species on the web *Biodivers. Data J*. 2014. No 2. P. e4034.
21. UkrBIN: Ukrainian Biodiversity Information Network [Internet]. URL: <http://www.ukrbn.com> (date access: 10.01.2019).
22. Strela K. M. [Walnut]. Kiev, 1990 (in Russ.).
23. Shaposhnikov G. Kh. [Phylogenetic rationale for the system of short-tailed aphids (Anuraphidina), taking into account their relationships with plants]. *Tr. Zoolog. In-ta AN SSSR*. 1956. No 23. P. 215–320 (in Russ.).
24. Rakauskas R., Turčinavičienė J. *Brachycaudus divaricatae* (Shaposhnikov, 1956) in Europe: biology, morphology and distribution, with comments on its taxonomic position (Hemiptera, Sternorrhyncha: Aphididae). *Mitteilungen aus dem Mus. für Naturkunde Berl. Zool. Reihe*. 2006. No 82 (2). P. 248–260.
25. Rakauskas R., Havelka J., Zaremba A. Plum (*Prunus* spp.) aphid guild (Hemiptera: Sternorrhyncha, Aphididae) structure in Lithuania: any impact of an alien aphid species? *Zemdirb.-Agric*. 2015. No 102(1). P. 81–86.
26. Berest Z. L. [Detection of the gall midge *Obolodiplosis robiniae* (Diptera, Cecidomuiidae) in Ukraine]. *Vestnik Zoologii*. 2006. No 40 (6). P. 534 (in Russ.).
27. Skrzypczynska M. Gall midge *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847) – the new pest of *Robinia pseudoacacia* L. leaves in Poland. *Sylwan*. 2008. No 152 (10). P. 14–16.
28. Petrov D. L. [Dendrophilous gall-forming Diptera (Insecta: Diptera) fauna of Belarus]. *Vestnik BSU. Series 2: Chemistry. Biology. Geography*. 2010. No 1. P. 31–35 (in Russ.).
29. Sinchuk O. V., Kolbas A. P. [The first find of *Dasineura gleditchiae* (Osten Sacken, 1866) in Belarus]. *J. of the BSU. Biology*. 2018. No (3). P. 85–88 (in Russ.).
30. Fedoruk A. T. [Introduced trees and shrubs in the western part of Belarus]. Minsk, 1972 (in Russ.).
31. Fedoruk A. T. [Experience in the introduction of woody deciduous plants in Belarus]. Minsk, 1985 (in Russ.).

УДК 574.24

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Е. Г. ТЮЛЬКОВА¹⁾

¹⁾Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации,
пр. Октября, 50, 246029, г. Гомель, Беларусь

Исследуются направления адаптивных реакций наиболее распространенных древесных растений г. Гомеля трех возрастных групп при их произрастании в техногенных условиях. Получено, что береза повислая *Betula pendula* Roth. и клен остролистный *Acer platanoides* L. при более высокой концентрации пигментов в техногенных условиях у всех возрастных групп характеризуются менее эффективным функционированием фотосинтетического аппарата. Липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. демонстрирует тенденцию снижения концентрации пигментов фотосинтеза в техногенной среде, уменьшения здесь величины фотохимического тушения флуоресценции и роста тепловой диссипации энергии, что может негативно сказаться на выживаемости растений под влиянием выбросов промышленных предприятий. Тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. в исследуемых возрастных категориях характеризуется различными изменениями в функционировании фотосинтетического аппарата, поэтому на данном этапе какой-либо однозначной тенденции адаптивной стратегии выявить не удалось.

Ключевые слова: береза повислая *Betula pendula* Roth.; клен остролистный *Acer platanoides* L.; тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz.; липа мелколистная *Tilia cordata* Mill.; фотосинтетические пигменты; активность фотосинтеза.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF WOODY PLANTS PHOTOSYNTHETIC SYSTEM IN TECHNOGENIC CONDITIONS

E. G. TULKOVA^a

^aBelarusian Trade and Economics University of Consumer Cooperatives
50 Akciabry Avenue, Gomel 264029, Belarus

The article investigates the adaptive reactions of the most common Gomel city woody plants of three age groups in their technogenic conditions growth. The silver birch *Betula pendula* Roth. and maple acuminous *Acer platanoides* L. in all age groups is characterized by less effective functioning of the photosynthetic apparatus at a higher pigments concentration under the technogenic conditions. Small-leaved linden *Tilia cordata* Mill. demonstrates a tendency to reduce the photosynthesis pigments concentration in technogenic environment, to reduce here the magnitude of fluorescence photochemical quenching and the growth of thermal energy dissipation, which can adversely affect the survival of plants under the industrial emissions influence. Lombardy poplar *Populus pyramidalis* Roz. in the studied age categories is characterized by various changes in the photosynthetic apparatus functioning, so at this stage any unambiguous trend of adaptive strategy could not be identified.

Key words: birch hanging *Betula pendula* Roth.; norway maple *Acer platanoides* L.; lombardy poplar *Populus pyramidalis* Roz.; small-leaved linden *Tilia cordata* Mill.; photosynthetic pigments; photosynthesis activity.

Образец цитирования:

Тюлькова Е. Г. Функциональные особенности фотосинтетической системы древесных растений в техногенных условиях // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 32–39.

For citation:

Tulkova E. G. Functional characteristics of woody plants photosynthetic system in technogenic conditions. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 32–39 (in Russ.).

Автор:

Елена Григорьевна Тюлькова – кандидат биологических наук, доцент кафедры товароведения.

Author:

Elena G. Tulkova, PhD(biology), associate professor at the department of commodity research.
tut-3@mail.ru

Введение

За последние годы в Республике Беларусь на фоне снижения общего объема выбросов наблюдается рост количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников [1]. Кроме того, за 2011–2017 гг. на Гомельскую обл. приходится рост среднегодовых концентраций диоксида серы, оксида углерода, оксида азота, углеводов, что впоследствии может негативно сказаться на процессе роста и развития растительности [2–6].

Одной из важнейших проблем фотосинтетических исследований на современном этапе является изучение механизмов адаптации фотосинтетического аппарата растений при развитии в стрессовых условиях. В этом смысле древесные растения различных возрастных групп, произрастающие в окружении крупных промышленных предприятий г. Гомеля, являются удобным объектом.

Цель исследования – оценка эффективности функционирования фотосинтетического аппарата древесных растений различных возрастных групп при их произрастании в техногенных и фоновых условиях на основе сравнительного количественного изучения состава пигментов и параметров активности фотосинтеза.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – листья местных древесных растений, разделенных на три возрастные группы (до 20 лет; 20–30 лет; более 30 лет): береза повислая *Betula pendula* Roth., клен остролистный *Acer platanoides* L., тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz., липа мелколистная *Tilia cordata* Mill.

Пробы листьев отбирали в окружении наиболее крупных промышленных предприятий Гомеля: ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельстекло». Фоновыми условиями явилась часть территории национального парка «Припятский» (Хобненское лесничество), максимально приближенная к Гомелю и свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Отбор листьев проводили в течение вегетационного периода (июль 2018 г.) с отдельно стоящих деревьев (не менее 3–5 в каждой точке), находящихся в примерно сходных климатических условиях произрастания, с высоты 1,5 м.

Среднюю концентрацию хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов (использовали по 3 параллельных определения) вычисляли по формулам 1–4 в вытяжках из навески сырых листьев массой 100–150 мг в 100%-ном ацетоне:

$$C_a = 9,784D_{662} - 0,99D_{644}, \quad (1)$$

$$C_b = 21,426D_{644} - 4,650D_{662}, \quad (2)$$

$$C_a + C_b = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}, \quad (3)$$

$$C_k = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{a+b}, \quad (4)$$

где C_a , C_b , C_k – средняя концентрация хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в вытяжке сырых листьев объектов исследования (мг/дм³); $D_{440,5}$, D_{644} , D_{662} – оптическая плотность при длинах волн 440,5 нм, 644 нм и 662 нм.

Параметры активности функционирования фотосинтетического аппарата определяли с помощью РАМ-флуориметра. Использование такого оборудования позволяет определить выход флуоресценции путем модуляции амплитуды измеряющего светового пучка в микросекундном диапазоне импульсов с параллельным обнаружением возбуждаемой флуоресценции в присутствии рассеянного света. Для оценки активности функционирования фотосинтетического аппарата оценивали базовую флуоресценцию F_0 ; максимальную флуоресценцию F_m ; потенциальные квантовые выходы фотохимических реакций второй фотосистемы F_v / F_m , F_v / F_0 ; эффективный квантовый выход фотохимических реакций второй фотосистемы $Y(II)$; скорость фотосинтетического электронного транспорта $ETR(II)$; нефотохимическое и фотохимическое тушение флуоресценции qN и qP ; количество открытых реакционных центров qL .

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка функционального состояния фотосинтетического аппарата исследуемых древесных растений в условиях влияния техногенных элементов выбросов промышленных предприятий невозможна без количественного анализа состава фотосинтетических пигментов.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что концентрация хлорофилла в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. всех изучаемых возрастных групп в фоновых условиях меньше по сравнению с пробами деревьев, произрастающих в окружении ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельстекло». Возможно, что в этом случае техногенное влияние выбросов

промышленных предприятий явилось причиной увеличения концентрации пигментов фотосинтеза в качестве ответной реакции фотосинтетической системы древесных растений на стрессовое воздействие.

Тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. и липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. с учетом возрастных групп по-разному демонстрируют адаптивные реакции к произрастанию в техногенных условиях. Так, липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. характеризуется снижением концентрации хлорофилла в пробах из промышленных зон по сравнению с фоновыми условиями. Вероятно, что на эффективность функционирования ассимиляционного аппарата могут оказывать влияние индивидуальные особенности организма. Следует отметить, липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. является достаточно чувствительным видом к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Таблица 1

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений

Table 1

Content of photosynthetic pigments in woody plants leaves

Исследуемые древесные растения	Возраст древесных растений, лет	Место отбора проб								
		ОАО «Гомельский химический завод»			ОАО «Гомельстекло»			национальный парк «Припят- ский» (фоновые условия)		
		концентрация фотосинтетических пигментов, мг/г сырой массы								
		Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	<i>Car</i>	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	<i>Car</i>	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	<i>Car</i>
Береза по- вислая <i>Bet- ula pendula</i> Roth.	более 30	0,924± 0,0003	0,226± 0,0001	0,600± 0,0001	1,076± 0,0002	0,401± 0,0001	0,627± 0,0005	0,775± 0,0005	0,146± 0,0002	0,741± 0,0005
	20–30	0,878± 0,0002	0,198± 0,0001	0,623± 0,0002	1,326± 0,0002	0,536± 0,0002	0,771± 0,0006	0,456± 0,0004	0,070± 0,0003	0,481± 0,0003
	до 20	0,534± 0,0001	0,113± 0,0002	0,476± 0,0001	1,060± 0,0004	0,321± 0,0001	0,595± 0,0002	0,345± 0,0003	0,078± 0,0004	0,375± 0,0002
Клен остролист- ный <i>Acer platanoides</i> L.	более 30	1,406± 0,0005	0,428± 0,0004	0,762± 0,0003	1,666± 0,0001	0,668± 0,0002	1,056± 0,0001	0,924± 0,0007	0,295± 0,0005	0,598± 0,0004
	20–30	1,872± 0,0002	0,787± 0,0005	1,041± 0,0001	2,324± 0,0005	0,927± 0,0005	1,484± 0,0001	1,046± 0,0008	0,271± 0,0006	0,720± 0,0002
	до 20	1,977± 0,0001	0,796± 0,0004	1,037± 0,0002	2,458± 0,0004	1,001± 0,0008	1,424± 0,0002	1,290± 0,0008	0,526± 0,0004	0,772± 0,0002
Тополь пирамидаль- ный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.	более 30	0,391± 0,0002	0,134± 0,0001	0,319± 0,0004	0,164± 0,0001	0,073± 0,0001	0,114± 0,0002	0,346± 0,0001	0,102± 0,0001	0,312± 0,0001
	20–30	0,293± 0,0002	0,106± 0,0004	0,207± 0,0002	образцы отсутствуют			0,338± 0,0004	0,121± 0,0001	0,276± 0,0003
	до 20	образцы отсутствуют						0,292± 0,0001	0,112± 0,0002	0,220± 0,0004
Липа мелко- листная <i>Tilia cordata</i> Mill.	более 30	0,718± 0,0003	0,220± 0,0005	0,387± 0,0001	1,538± 0,0008	0,752± 0,0002	0,848± 0,0002	1,861± 0,0007	2,530± 0,0008	0,890± 0,0002
	20–30	0,327± 0,0004	0,126± 0,0006	0,227± 0,0002	1,520± 0,0007	0,705± 0,0003	0,775± 0,0005	0,621± 0,0004	0,174± 0,0001	0,364± 0,0001
	до 20	0,688± 0,0004	0,186± 0,0003	0,349± 0,0001	1,218± 0,0008	0,568± 0,0004	0,619± 0,0006	1,287± 0,0008	0,496± 0,0002	0,650± 0,0003

Тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. с учетом места отбора проб и возраста растений характеризуется неоднозначной тенденцией изменения содержания хлорофилла.

У представителей более старшей возрастной группы (более 30 лет) отмечалось повышенное содержание пигментов в пробах с территории ОАО «Гомельский химический завод» и пониженное – с территории ОАО «Гомельстекло», тогда как в пробах растений возраста 20–30 лет концентрация пигментов в техногенной зоне была ниже по сравнению с фоновыми условиями.

Согласно литературным данным, в стрессовых условиях процесс фотосинтеза протекает наиболее интенсивно: увеличивается концентрация хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов.

В наших исследованиях такая закономерность характерна для березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. всех изучаемых возрастных групп, тогда как для липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. отмечалось снижение концентрации каротиноидов в техногенной среде.

аналогично уменьшению содержания хлорофилла. У тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. наблюдалось как незначительное снижение концентрации каротиноидов в фоновых условиях (возрастная группа – более 30 лет), так и ее рост (возрастная группа – 20–30 лет).

Следует отметить, что содержание фотосинтетических пигментов в пределах одного вида несколько различается как в фоновых условиях, так и при произрастании в окружении промышленных предприятий у представителей различных возрастных групп.

При этом все исследуемые растения, за исключением клена остролистного *Acer platanoides* L., в большинстве случаев демонстрируют тенденцию роста концентрации хлорофилла и каротиноидов по мере увеличения возраста растения. Возможно, это происходит при формировании у растений более выраженных и интенсивных защитных механизмов, связанных с возрастом.

Результаты анализа дисперсионных комплексов, включающих концентрацию хлорофилла и каротиноидов проб древесных растений, произрастающих на территориях с техногенной нагрузкой и в фоновых условиях, свидетельствуют о том, что значение F-критерия превышает F-критическое для всех исследованных образцов во всех случаях (для березы повислой *Betula pendula* Roth. $F_{\text{факт.}} = 15,23$; клена остролистного *Acer platanoides* L. – 18,99; тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. – 34,06; липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. – 2,76; $F_{\text{критич.}}(11, 24) = 2,22$ при $p \leq 0,05$). Таким образом, концентрация пигментов фотосинтеза древесных растений статистически достоверно различается при действии техногенного загрязнения и в фоновых условиях.

Использование оптических методов для исследования активности процесса фотосинтеза растений характеризуется рядом преимуществ, поскольку они являются неразрушающими, достаточно информативными и позволяют в течение короткого времени получать данные о состоянии фотосинтетического аппарата растений.

В таблицах 2–5 представлены результаты определения параметров эффективности процесса фотосинтеза листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth., клена остролистного *Acer platanoides* L., тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. и липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. различных возрастных групп.

Таблица 2

Параметры активности фотосинтетического аппарата березы повислой *Betula pendula* Roth.

Table 2

Parameters of photosynthetic apparatus activity of birches hanging *Betula pendula* Roth.

Место отбора проб	Параметры активности фотосинтетического аппарата								
	F_0	F_m	F_v / F_m	F_v / F_0	$Y(II)$	ETR (II)	qN	qP	qL
до 20 лет									
1	0,703	3,214	0,781	3,572	0,466	26,0	0,686	0,723	0,474
2	0,730	3,024	0,759	3,142	0,473	26,0	0,657	0,717	0,463
3	0,657	3,765	0,825	4,731	0,473	31,1	0,580	0,801	0,540
20–30 лет									
1	0,802	3,856	0,792	3,808	0,461	25,3	0,645	0,685	0,415
2	0,810	4,580	0,823	4,654	0,469	25,8	0,686	0,716	0,466
3	0,622	2,511	0,752	3,037	0,524	28,8	0,598	0,752	0,480
более 30 лет									
1	0,705	2,828	0,751	3,011	0,478	26,3	0,657	0,722	0,468
2	0,727	2,889	0,748	2,974	0,584	32,1	0,515	0,818	0,562
3	0,653	3,084	0,788	3,723	0,515	28,4	0,622	0,758	0,501

Примечания. Здесь и далее в табл. 2–4: F_0 – базовая флуоресценция; F_m – максимальная флуоресценция; F_v / F_m , F_v / F_0 – потенциальный квантовый выход фотохимических реакций фотосистемы 2; $Y(II)$ – эффективный квантовый выход фотохимических реакций фотосистемы 2; ETR (II) – скорость фотосинтетического электронного транспорта; qN и qP – нефотохимическое и фотохимическое тушение флуоресценции; qL – количество открытых реакционных центров; 1 – ОАО «Гомельский химический завод»; 2 – ОАО «Гомельстекло»; 3 – фоновые условия.

Результаты определения величины базовой флуоресценции хлорофилла F_0 листьев исследуемых древесных растений, регистрируемой РАМ флуориметром на слабом свете, свидетельствуют о том, что в половине случаев интенсивность базовой флуоресценции пигментов ниже в листовых пластинках в фоновых условиях, чем в техногенных. При этом в большей степени такая тенденция характерна для березы

повислой *Betula pendula* Roth. и липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. (табл. 2 и 5). Начальная величина квантового выхода флуоресценции хлорофилла F_0 характеризует базовую интенсивность флуоресценции хлорофилла при действии на него слабого света после периода адаптации листа в темноте. В наших исследованиях техногенное влияние выбросов промышленных предприятий способствовало росту начального значения флуоресценции хлорофилла в половине рассматриваемых случаев.

Максимальная интенсивность флуоресценции, достигаемая при высокой интенсивности воздействующего света, отражает динамическое равновесие процесса восстановления первичного акцептора электронов фотосистемы 2 и последующего его окисления следующими переносчиками электрона. В результате исследований установлено, что максимальная флуоресценция F_m большинства отобранных образцов фоновых условий превышает аналогичное значение в техногенной зоне, что характеризует более интенсивное восстановление первичного акцептора электронов фотосистемы 2 и снижение потока электронов.

Таблица 3

Параметры активности фотосинтетического аппарата клена остролистного *Acer platanoides* L.

Table 3

Parameters of photosynthetic apparatus activity of maple holly *Acer platanoides* L.

Место отбора проб	Параметры активности фотосинтетического аппарата								
	F_0	F_m	F_v / F_m	F_v / F_0	Y (II)	ETR (II)	qN	qP	qL
до 20 лет									
1	0,767	1,864	0,589	1,430	0,340	18,7	0,744	0,588	0,375
2	0,919	2,861	0,679	2,113	0,284	15,7	0,685	0,456	0,239
3	0,878	2,348	0,626	1,674	0,467	25,7	0,620	0,747	0,526
20–30 лет									
1	1,014	4,764	0,787	3,698	0,354	25,0	0,742	0,672	0,443
2	1,094	4,334	0,748	2,962	0,334	18,4	0,699	0,558	0,337
3	0,695	1,392	0,501	1,003	0,456	19,6	0,590	0,696	0,491
более 30 лет									
1	0,849	2,506	0,661	1,952	0,421	23,2	0,605	0,640	0,378
2	0,924	3,095	0,701	2,350	0,265	14,6	0,659	0,416	0,205
3	0,993	4,415	0,775	3,446	0,458	25,2	0,622	0,736	0,509

Данные таблиц 2–5 свидетельствуют о том, что изменения значения потенциальных квантовых выходов фотохимических реакций второй фотосистемы F_v / F_m , F_v / F_0 листовых пластинок исследуемых древесных представителей характеризовались следующими тенденциями: в одной половине случаев величины потенциальных квантовых выходов фотохимических реакций в фоновых условиях превышали данные показатели у образцов из техногенной зоны; в другой половине – наоборот, были ниже в фоновых условиях по сравнению с техногенной средой. Следует отметить, что понятие квантового выхода было введено в фотохимии с целью характеристики соотношения количества прореагировавших молекул вещества к общему количеству поглощенных квантов света.

Таблица 4

Параметры активности фотосинтетического аппарата тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz.

Table 4

Parameters of photosynthetic apparatus activity of lombardy poplar *Populus pyramidalis* Roz.

Место отбора проб	Параметры активности фотосинтетического аппарата								
	F_0	F_m	F_v / F_m	F_v / F_0	Y (II)	ETR (II)	qN	qP	qL
до 20 лет									
3	0,723	2,952	0,755	3,083	0,418	23,0	0,603	0,605	0,322
20–30 лет									
1	0,602	3,718	0,838	5,176	0,652	35,9	0,285	0,816	0,471
3	0,686	3,850	0,822	4,612	0,565	31,1	0,620	0,823	0,593
более 30 лет									
1	0,632	3,385	0,813	4,356	0,223	16,3	0,429	0,554	0,345
2	0,962	4,725	0,796	3,912	0,335	18,4	0,727	0,555	0,331
3	0,632	3,980	0,841	5,297	0,413	34,3	0,315	0,780	0,416

Из научных источников известно, что значение потенциального квантового выхода фотохимических реакций пропорционально доле активных реакционных центров фотосистемы 2 и может снижаться в неблагоприятных условиях среды произрастания растения [2; 6]. В наших исследованиях только у липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. (возрастная группа до 20 лет) отмечалось увеличение потенциального квантового выхода в техногенной среде при росте количества активных реакционных центров. В остальных вариантах повышенный потенциальный квантовый выход не сопровождался увеличением открытых реакционных центров, что возможно объясняется снижением общего количества поглощаемой энергии молекулами хлорофилла или фотохимического реакционного центра по причине их деформации.

Таблица 5

Параметры активности фотосинтетического аппарата липы мелколистной *Tilia cordata* Mill.

Table 5

Parameters of photosynthetic apparatus activity of small-leaved linden *Tilia cordata* Mill.

Место отбора проб	Параметры активности фотосинтетического аппарата								
	F_0	F_m	F_v / F_m	F_v / F_0	$Y(II)$	ETR (II)	qN	qP	qL
до 20 лет									
1	0,855	3,950	0,784	3,620	0,584	32,1	0,426	0,828	0,586
2	0,690	3,784	0,818	4,484	0,412	22,6	0,617	0,606	0,330
3	0,827	3,341	0,752	3,040	0,460	25,3	0,535	0,670	0,389
20–30 лет									
1	0,793	3,265	0,757	3,117	0,393	21,5	0,586	0,576	0,305
2	0,856	4,513	0,810	4,272	0,409	22,5	0,606	0,607	0,336
3	0,835	3,331	0,749	2,989	0,525	28,9	0,501	0,752	0,479
более 30 лет									
1	0,783	2,404	0,674	2,070	0,476	26,2	0,566	0,728	0,480
2	0,860	4,366	0,803	4,077	0,428	23,6	0,608	0,648	0,383
3	0,481	1,310	0,633	1,723	0,706	38,8	0,187	0,921	0,731

Что касается значения эффективного квантового выхода фотохимических реакций фотосистемы 2, то только в двух исследуемых вариантах (тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz., возрастная группа 20–30 лет; липа мелколистная *Tilia cordata* Mill., возрастная группа до 20 лет) этот показатель был ниже в фоновых условиях по сравнению с техногенной средой, что указывает на отрицательное влияние техногенных элементов и соединений промышленных эмиссий на функционирование фотосинтетического аппарата растений.

В настоящее время известно, что при попадании и поглощении квантов света молекулы хлорофилла переходят в возбужденное состояние, при этом энергия возбуждения молекул кроме флуоресценции, может использоваться на фотохимическое преобразование (фотохимическое тушение) или испускаться в виде тепла (нефотохимическое тушение). Поэтому фотосинтез, тепло и флуоресценция являются конкурентными процессами, а оценка эффективности функционирования фотосинтетического аппарата растений, учитывая комплекс этих показателей, необходима и может быть использована с целью исследования адаптивных механизмов растений к произрастанию в стрессовых условиях.

В результате сравнительной оценки значений фотохимического и нефотохимического тушения поглощенной энергии в листьях древесных растений установлено, что при произрастании в фоновых условиях фотохимическое тушение больше при сниженном рассеивании энергии в виде тепла, тогда как в техногенной среде – фотохимическое преобразование энергии понижено при повышении теплового преобразования квантов поглощенной энергии света. Исключение составили клен остролистный *Acer platanoides* L. (возрастная группа – более 30 лет) в случае нефотохимического тушения (табл. 3); тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz. (возрастная группа – 20–30 лет) по аналогичному параметру (табл. 4) и липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. (возрастная группа – до 20 лет) с учетом значений фото- и нефотохимического тушения (табл. 5). Таким образом, стрессовые условия среды произрастания оказали угнетающее влияние на функционирование фотосинтетического аппарата исследуемых древесных растений.

На рис. 1 представлена сравнительная кинетика процессов фотохимического и нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла листовых пластинок древесных растений, произрастающих в техногенных и фоновых условиях (на примере березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L.).

Анализ результатов кинетики параметров qN и qP свидетельствует о наличии различий между ними при произрастании растений в различных условиях.

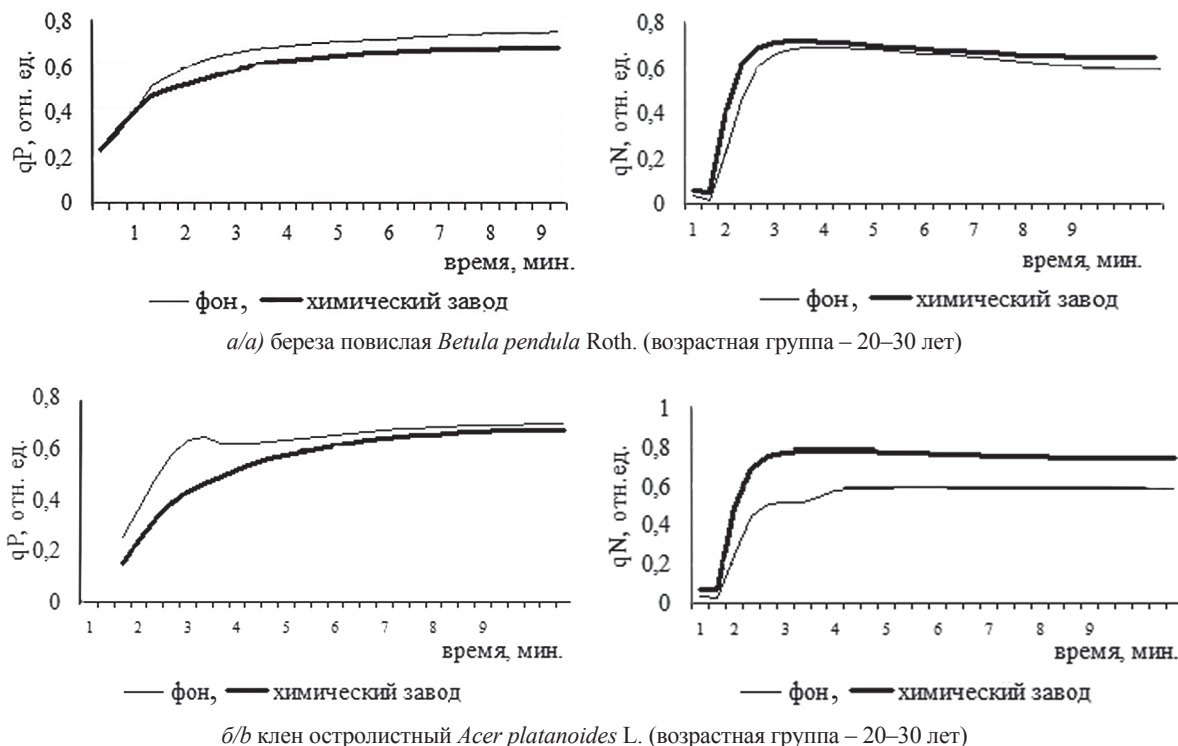


Рис. 1. Кинетика фотохимического (qP) и нефотохимического (qN) тушения флуоресценции хлорофилла в листьях а) березы повислой *Betula pendula* Roth. и б) клена остролистного *Acer platanoides* L.

Fig. 1. Kinetics of photochemical (qP) and nonphotochemical (qN) quenching chlorophyll fluorescence in the a) leaves of birch *Betula pendula* Roth. and b) maple leaf of *Acer platanoides* L.

По полученным в настоящее время данным исследований известно, что снижение показателя фотохимического преобразования энергии может происходить по причине уменьшения скорости транспорта электронов в электрон-транспортной цепи. На основе результатов исследований автора можно сделать вывод о том, что в результате произрастания в техногенных условиях в реакционных центрах растений происходят изменения, которые отрицательно сказываются на скорости передвижения электронов и интенсивности протекания фотохимических реакций.

Если сопоставить параметры активности фотосинтетического аппарата растений с концентрацией молекул хлорофилла, то получается, что у березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. при более высокой концентрации пигментов фотосинтез в техногенных условиях у всех возрастных групп фотохимическое тушение флуоресценции хлорофилла происходит менее эффективно, тогда как тепловое рассеивание энергии поглощенного света повышается. При этом скорость фотосинтетического электронного транспорта между фотосистемой 1 и 2 практически во всех случаях была выше в фоновых условиях. Таким образом, на снижение эффективности использования световой энергии на фотосинтез у березы повислой *Betula pendula* Roth. и клена остролистного *Acer platanoides* L. оказало влияние снижение скорости электронного транспорта между фотосистемами, а также возможная деформация молекул хлорофилла в условиях техногенного влияния.

Липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. в возрастных группах от 20 до 30 лет и более 30 лет демонстрирует противоположную тенденцию увеличения концентрации пигментов фотосинтеза в фоновых условиях и увеличения здесь фотохимического тушения флуоресценции, что достаточно логично для роста и развития растения в благоприятных условиях среды обитания. По тополи пирамидальному *Populus pyramidalis* Roz. необходимы более детальные исследования, возможно с привлечением других площадок для исследования, так как в возрастной категории 20–30 лет при повышенной концентрации хлорофилла в фоновых условиях наблюдали увеличение величины qP , qN и снижение $ETR (II)$. Представители группы более 30 лет при пониженном содержании хлорофилла в фоновых условиях характеризовались ростом значения qP и $ETR (II)$ и уменьшением qN . Поэтому на данном этапе какую-либо однозначную

тенденцию адаптивной стратегии с учетом изменений в функционировании фотосинтетического аппарата в стрессовых условиях выделить не представляется возможным.

Заключение

В результате оценки эффективности функционирования фотосинтетического аппарата наиболее распространенных древесных растений Гомеля трех возрастных групп выявлено два направления адаптивных механизмов при их произрастании в техногенных условиях. Береза повислая *Betula pendula* Roth. и клен остролистный *Acer platanoides* L. при более высокой концентрации хлорофилла и каротиноидов в техногенных условиях у всех возрастных групп характеризуются менее эффективным фотохимическим тушением флуоресценции хлорофилла, снижением скорости фотосинтетического электронного транспорта между фотосистемой 1 и 2 при повышении теплового рассеивания энергии поглощенного света.

Липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. в двух возрастных группах демонстрирует противоположную тенденцию снижения концентрации пигментов фотосинтеза в техногенной среде, уменьшения здесь величины фотохимического тушения флуоресценции и роста тепловой диссипации энергии, что может негативно сказаться на выживаемости растений под влиянием выбросов промышленных предприятий.

Что касается тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz., то в возрастной категории 20–30 лет при повышенной концентрации хлорофилла в фоновых условиях наблюдается увеличение величины фото- и нефотохимического тушения флуоресценции и снижение скорости электронного транспорта. Представители группы более 30 лет при пониженном содержании хлорофилла в фоновых условиях характеризовались ростом значения фотохимического тушения и скорости электронного транспорта и уменьшением рассеивания энергии в виде тепла. Поэтому на данном этапе какой-либо однозначной тенденции адаптивной стратегии выявить не удалось.

Библиографические ссылки

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. Минск, 2018.
2. Кабашишникова Л. Ф. Фотосинтетический аппарат и потенциал продуктивности хлебных злаков. Минск, 2011.
3. Легощина О. М. Адаптивные реакции и фитоиндикационная способность древесных растений в условиях техногенного загрязнения : автореф. ... канд. биол. наук : 03.02.16. Томск, 2018.
4. Фатеева Н. Л. Дистанционная диагностика состояния растений на основе метода лазерно-индуцированной флуоресценции : автореф. ... канд. ф.-м. наук : 01.04.05. Новосибирск, 2007.
5. Лысенко В. С., Вардуни Т. В., Соьер В. Г. и др. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода // Фундаментальные исследования. 2013. № 4. С. 112–120.
6. Сергейчик С. А. Влияние формальдегида (HCHO) на флуоресценцию хлорофилла, содержание фотосинтетических пигментов, белков и активность пероксидазы древесных растений // Экологический вестник. 2012. № 1. С. 16–24.

References

1. [Environmental protection in Belarus Republic : stat. comp.]. Minsk, 2018 (in Russ.).
2. Kabashnikova L. F. [The photosynthetic apparatus and cereals productivity potential]. Minsk, 2011 (in Russ.).
3. Legoshina O. M. [Adaptive response and phytoindicational ability drevtion of plants in the conditions of technogenic pollution] : author. ... kand. biol. sciences : 03.02.16. Tomsk, 2018 (in Russ.).
4. Fateeva N. L. [Remote diagnostics of plant state on the basis of laser-induced fluorescence method] : author. ... kand. f.-m. sciences : 01.04.05. Novosibirsk, 2007 (in Russ.).
5. Lysenko V. S., Varduni T. V., Sawyer V. G., at. al. [Fluorescence of plant chlorophyll as an indicator of environmental stress: theoretical basis of the method]. *Fundamental research*. 2013. No 4. P. 112–120 (in Russ.).
6. Sergeichik S. A. [Effect of formaldehyde (HCHO) on the chlorophyll fluorescence, the content of photosynthetic pigments, protein and activity of peroxidase in woody plants]. *Ecological Bulletin*. 2012. No 1. P. 16–24 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 09.01.2019.
Received by editorial board 09.01.2019.

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 504.06

ИНАКТИВИРУЮЩЕЕ И МУТАГЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВОЗБУДИТЕЛЯ ПАРАТИФОЗНОЙ ИНФЕКЦИИ (*S. TYPHIMURIUM* 355) В МОДЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

А. И. ЕРОШОВ¹⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Установлено, что ионизирующее излучение оказывает мутагенное действие на возбудителя паратифозной инфекции (*S. typhimurium* 355). При гамма-облучении повреждаются основные чувствительные структуры клетки-ДНК и мембраны. В культуре облученных клеток выделены некоторые биохимические мутанты. При обычных условиях их рост не обнаружен. Только внесение в питательную среду необходимых факторов роста (набор аминокислот) в приведенном сочетании повысило их выживаемость, но патогенные свойства исчезли.

Ключевые слова: гамма-излучение; возбудитель паратифозной инфекции; ДНК; мембраны; мутанты; патогенность.

Образец цитирования:

Ерошов А. И. Инактивирующее и мутагенное действие гамма-излучения на возбудителя паратифозной инфекции (*S. typhimurium* 355) в модельных средах // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 40–45.

For citation:

Eroshov A. I. Inactivating and mutagenic effects of gamma-radiation on the causative agent of (*S. typhimurium* 355) paratyphoid infection in model media. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 40–45 (in Russ.).

Автор:

Анатолий Иванович Ерошов – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

Author:

Anatol I. Eroshov, doctor of science (biology), full professor; professor at the department of social-humanitarian sciences and sustainable development
An.Eroshov@ISEU.by

INACTIVATING AND MUTAGENIC EFFECTS OF GAMMA-RADIATION ON THE CAUSATIVE AGENT OF (*S. TYPIMURIUM* 355) PARATYPHOID INFECTION IN MODEL MEDIA

A. I. EROSHOV^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

It is established, that the ionizing radiation processes evoke strong mutagen action. At radiation basic sensitive structures of a cell-DNA and membranes are damaged. In culture of the irradiated cells biochemical mutants have been found. In normal conditions their growth is not found. Only entering into a nutrient medium of necessary factors of growth (a set of amino acids) has raised their survival rate, but pathogenic properties have disappeared.

Key words: gamma-radiation; pathogen of paratyphoid infection; DNA; membranes; mutants; pathogenicity.

Введение

Радиочувствительность микроорганизмов, как свидетельствуют многочисленные исследования определяют условия, в которых они находились до, во время и после облучения. Она также зависит от состава среды, присутствия протекторов или сенсibilизаторов в ней, температуры, кислородного режима и других факторов. Поэтому при определении инактивирующих доз для каждого вида микроорганизмов или ассоциативной группы в целом необходимо учитывать все факторы, изменяющие радиочувствительность клеток [1; 2; 5; 6; 10].

Под влиянием окружающей среды и действия неспецифических (в природе) и специфических (техногенных) ингибиторов отдельные звенья энергетических и конструктивных процессов могут сильно видоизменяться в качественном и количественном отношении – от максимального до полного исключения с гибелью клетки. Ингибиторы роста подразделяются на специфические, действия которых направлены на определенные процессы в клетке, и неспецифические, влияющие на несколько ее функций. Рецепторами ингибиторов могут быть любые полимеры: нуклеиновые кислоты, белки, полимеры клеточной стенки и мембранные структуры. При контакте ингибитора с ДНК изменения, которые он вносит в структуру клетки, передаются потомству, вызывая изменения в генетическом материале. Связь с другими рецепторами вызывают только физиологические изменения. Мембраны, полимеры клеточной стенки, белки, РНК начинают функционировать аномально [2; 5–7; 9; 11].

При исследовании действия ионизирующего излучения на мембраны были определены трансформации заряда клеточной поверхности и электрофоретической подвижности белков, нарушения ультраструктурной организации мембран, изменения в поверхностном натяжении [7].

В механизме летального эффекта микроорганизмов главную роль играет образование пиримидиновых димеров в молекулах нуклеиновых кислот. Образование димеров ДНК ведет к гибели клеток вследствие возникновения летальной мутации, потери способности к репликации за счет нерепарированных сшивков ДНК-ДНК или ДНК-белок, или нарушения процессов транскрипции (даже в одной из молекул ДНК) [1; 2; 5]. Для определения действия гамма-излучения на микроорганизмы был выбран представитель рода паратифозных бактерий, включающий большое количество видов, названных по предложению Международного съезда микробиологов (1934 г.) *сальмонеллами* в честь микробиолога Д. Сальмона.

Паратифозные бактерии (*сальмонеллы*) по патогенным, культурально-биохимическим и антигенным свойствам имеют большое эпидемиологическое и эпизоотическое значения. Различают следующие группы *сальмонелл*: паратифозные бактерии, патогенные только для человека; паратифозные бактерии, обладающие специфической патогенностью в отношении определенных видов животных; паратифозные бактерии – мясные или пищевые отравители, вызывающие у человека тяжелую пищевую токсикоинфекцию (употребление обсемененного *сальмонеллами* мяса, молока и других продуктов).

Цель исследования – изучение инактивирующего и мутагенного действия гамма-излучения на штамм *сальмонеллы*. В статье приведены данные по определению инактивирующих доз гамма-облучения (гамма-установка – источник ¹³⁷Cs) только на тест-микробы (*S. typhimurium* 355) с целью показа методики по определению инактивирующих доз для 50 тест-микробов. Исследование выполнялось с целью подготовки проекта производственной гамма-установки по обеззараживанию сточных вод разного происхождения, загрязненных патогенными микроорганизмами, а также для разработки плана ввода ее в эксплуатацию.

Материалы и методы исследования

Опыты по определению действия гама-излучения на микроорганизмы рода *Salmonella* были проведены на штамме (*S. typhimurium* 355) в фазе экспоненциального роста. Суспензию сальмонеллы в фосфатном буфере определенной концентрации облучали возрастающими дозами гамма-квантов от 0,10 до 5,50 кГр (источник излучения ^{137}Cs , мощность дозы – 0,17 кГр /с; гамма-установка «Стимулятор»). Выживаемость облученной культуры определяли высевом на селективные питательные среды (висмут-сульфатный агар и др.) с термостатированием при 37,5 °С в течение 24–36 ч.

Вторая серия исследований была направлена на определение мутационного эффекта гамма-излучения на микроорганизмы. Обычно для индукции мутаций используют такое воздействие какого-либо фактора (физического, химического и др.), при котором выживаемость микроорганизмов составляет 0,1–0,001 %. В данных исследованиях для изучения индуцированных гамма-излучением мутаций у микроорганизмов использовали тот же штамм (*S. typhimurium* 355), выращенный на питательной среде (МПБ, МПА) в фазе экспоненциального роста при температуре 37,5 °С в течение 15–17 ч. Концентрацию жизнеспособных клеток определяли чашечным способом. Суспензию микроорганизмов в фосфатном буфере в концентрации $1,0\text{--}2,0 \times 10^6$ микробных клеток/мл облучали гамма-квантами в дозах от 2,0 до 3,0 кГр (источник излучения также ^{137}Cs , мощность дозы – 0,17 Гр/с (м. кл./мл – количество микробных клеток в одном мл среды)).

После облучения проб определяли концентрацию выживших микроорганизмов путем посева на питательную среду М-9 с пенициллином (концентрация 200 ед/мл) для снижения выживаемости прототрофов. Через 17 ч инкубации при 37 °С из разведений 10^{-1} и 10^{-2} в фосфатном буфере делали посев по 0,1 мл на питательный агар с равномерным распределением по поверхности. После 17-часовой инкубации просматривали посеы и отбирали те, на которых росло от 20 до 100 колоний. Затем методом реплик-отпечатков снимали колонии и переносили в чашки с минимальным агаром (МА). После инкубации на МА посеы просматривали и сравнивали с посевом на питательном агаре (ПА). Отбирали те колонии, рост которых на МА отсутствовал. Эти колонии предполагаемых мутантов ресуспендировали в фосфатном буфере и изучали их рост на МА и ПА с выделением мутанта.

Тестирование клонов на аутокотрофность и определение потребности мутантов в факторах роста определяли по Холлидею [2].

Факторы роста – аминокислоты, витамины, пурины и пиримидины – были приготовлены согласно методике и их вносили в минимальную среду или минимальный агар в 12 комбинациях сред [3]. Основные биохимические (сахаролитические) свойства определяли высевом на среды Гисса, патогенность – заражением белых мышей. Стерильные растворы аминокислот (стерилизация гамма излучением в дозе 25,0 кГр) вносили по 1 мл на 100 мл среды (МА).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты опытов отражены в табл. 1. После облучения жизнеспособных клеток сальмонеллы мышинного тифа в рабочей концентрации $(969,0 \pm 86,0) \cdot 10^6$ м.кл./мл дозой 0,1 кГр концентрация жизнеспособных клеток снизилась до 10 %. При дозе 0,2 кГр жизнеспособными остаются менее 1,0 % клеток.

Таблица 1

Результаты облучения *S. typhimurium* 355 гамма-квантами в буферном растворе (мощность дозы 0,17 Гр/с)

Table 1

The results of irradiation of *S. typhimurium* 355 by gamma-quanta in a buffer solution (dose rate 0.17 Gy / s)

Концентрация жизнеспособных клеток, м. кл./мл (10^6)	Доза облучения, кГр	Концентрация выживших клеток, м.кл./мл	Инактивация, %
1	2	3	4
969,0±86,0	0,1	$97,6 \cdot 10^6$	89,92
969,0±86,0	0,2	$3,62 \cdot 10^6$	99,63
950,0±67,0	1,0	$0,76 \cdot 10^6$	99,99
950,0±66,0	2,0	820,0±38,0	99,999
1100,0±89,0	3,0	648,0±43,0	99,999
980,0±74,0	4,0	20,4±8,2	99,999
1100,0±80,0	5,0	15,0±3,0	99,999
960,0±84,0	5,5	0,0	100,00

С увеличением дозы гамма-квантов на один порядок (0,2 и 2,0 кГр) концентрация выживших микробов снижается на четыре порядка. Имеет место прямая зависимость выживаемости микроорганизмов от величины поглощенной дозы. При дозе 5,5 кГр не было выявлено жизнеспособных клеток на питательных средах в течение 7–10 дней.

В теоретической микробиологии в качестве критерия радиочувствительности выбирают такую дозу излучения, которая необходима для инактивации 63 % клеток в облучаемой среде. Так как 37 % клеток сохраняют первоначальные свойства, эта доза получила название «доза 37 %-ной сохранности» – D_{37} .

D_{37} гамма-квантов для сальмонеллы мышинного тифа 0,05 кГр. Из данных табл. 1 следует, что клетки гибнут при самых малых дозах облучения. Однако даже при самой высокой дозе некоторое число клеток сохраняет жизнеспособность.

Для изучения индуцированных гамма-излучением мутаций использовали штамм *S. typhimurium* 355, патогенный для белых мышей. В ряде серий опытов суспензию сальмонеллы в фосфатном буфере в концентрациях $1,0\text{--}2,0 \times 10^6$ жизнеспособных клеток в 1 мл облучали гамма-квантами в дозах 2,0 и 3,0 кГр. По вышеприведенной методике было выделено шесть мутантов по ауксотрофности их потребности в аминокислотах, факторах роста (по Холлидею). Сочетания аминокислот (мг/мл) приведены в табл. 2. Сочетание факторов роста (аминокислот) с 1 по 6 в таблице по вертикали (6 факторов роста). Сочетание факторов роста с 7 по 12 – тоже 6 факторов роста. В питательные среды были внесены по одному сочетанию факторов роста.

Таблица 2

Сочетание аминокислот (факторов роста), мг/мл

Table 2

The combination of amino acids (growth factors), mg / ml

	1	2	3	4	5	6
7	аденин 5 мг/мл	биотин 1 мг/мл	фенилаланин 1 мг/мл	аланин 1 мг/мл	аргинин 1 мг/мл	лейцин 1 мг/мл
8	гипоксантин 5 мг/мл	фолиевая кислота 50 мг/мл	серин 2 мг/мл	цистеин 2 мг/мл	орнитин 2 мг/мл	глицин 2 мг/мл
9	цитозин 5 мг/мл	пантатеновая кислота 50 мг/мл	триптофан 2 мг/мл	треонин 2 мг/мл	аспарагиновая кислота 2 мг/мл	изолейцин 2 мг/мл
10	гуанин 5 мг/мл	пиридоксин 50 мг/мл	тирозин 1 мг/мл	тиосульфат натрия 5 мг/мл	пролин 1 мг/мл	гистидин 1 мг/мл
11	тимин 5 мг/мл	тиамин 1 мг/мл	р-Аминобензойная кислота 1 мг/мл	метеонин 1 мг/мл	глутаминовая кислота 1 мг/мл	лизин 1 мг/мл
12	урацил 5 мг/мл	рибофлавин 250 мг/мл	никотиновая кислота 2 мг/мл	холин 2 мг/мл	инозит 500 мг/мл	валин 2 мг/мл

Если штамм нуждался в каком-либо одном факторе роста, то он находился (по горизонтали и по вертикали) только на двух из 12 комбинаций сред (табл. 2).

В табл. 3 приведены результаты исследований выживших клеток сальмонеллы и выделенных из них мутантов путем посева на минимальный агар (МА) с двенадцатью комбинациями среды с аминокислотами.

Таблица 3

Выход ауксотрофных мутантов *S. typhimurium* 355 при гамма-облучении

Table 3

The output of auxotrophic mutants of *S. typhimurium* 355 with gamma irradiation

Показатели	Доза облучения, Гр	
	2,0 кГр	3,0 кГр
Мутаген	гамма-кванты	гамма-кванты
Способ отбора	метод реплик	метод реплик
Исследовано колоний	973	731
Из них ауксотрофов, шт	4	2
Количество ауксотрофов, %	0,41	0,27
Выживаемость, %	0,0001	0,0001

У ауксотрофных мутантов, выделенных из облученной культуры штамма *S. typhimurium* 355 дозами 2,0 и 3,0 кГр и обладающих ауксотрофностью по аргинину и по триптофану, были определены их сахаролитические свойства.

В табл. 4 приведены данные по исследованию биохимических свойств мутантов, выделенных из облученной культуры сальмонеллы мышинного тифа.

Таблица 4

Основные биохимические свойства мутантов штамма *S. typhimurium* 355

Table 4

The main biochemical properties of mutants of the strain *S. typhimurium* 355

Среда Гисса	Сахаролитические свойства микробов					
	Мутант M _{RS+ГР}		Мутант M _{RS}		Интактная культура <i>S. typhimurium</i> 355	
	Кислота	Газ	Кислота	Газ	Кислота	Газ
Маннит	—	—	—	—	+	—
Глюкоза	+	—	—	—	+	+
Лактоза	+	+	+	+	—	—
Сахароза	+	—	—	—	—	—
Дульцит	—	—	—	—	+	+
Рамноза	—	—	—	—	+	+
Арабиноза	+	—	—	—	+	+

Как следует из табл. 4, у мутантов, выделенных после облучения исходной культуры сальмонеллы дозами 2,0 и 3,0 кГр, утрачено свойство сбраживать манит, глюкозу (газ), дульцит, рамнозу и арабинозу. После облучения дозой 2,0 кГр было исследовано 973 колонии и выделено 4 мутанта.

При испытании клонов на ауксотрофность при определении потребности мутантов в разных аминокислотах, факторах роста (по Холлидею) установлено, что выделенные мутанты обладают полиауксотрофностью (сочетание 5 и 9). Выращенная культура мутантов на среде с этим сочетанием аминокислот (факторов роста) была суспендирована в концентрации $2,0 \times 10^6$ жизнеспособных клеток в 1 мл и введена группе белых мышей (15 животных). Все подопытные белые мыши выжили. Контрольные белые мыши (15 животных), которым была введена интактная (необлученная) культура *S. typhimurium* 355, погибли в течение двух суток.

Заключение

Из анализа экспериментальных данных следует, что инактивация бактериальной клетки (при ионизирующем излучении) может наступить вследствие повреждения структур и клеточных мембран. Современные исследования свидетельствуют, что в микробной клетке излучениями повреждаются основные чувствительные структуры – ДНК и мембраны. В настоящее время достаточно данных о том, что гибель облученных клеток является следствием взаимодействия повреждений, возникающих как в ДНК, так и в клеточных мембранах, а также и в других структурах, поврежденных излучением. Установлено, что ионизирующее излучение является сильным мутагенным фактором. При воздействии излучения энергия в клетке распределяется неравномерно, и летальный эффект может быть связан с повреждением любых структур, адсорбировавших энергию. В наших исследованиях были применены дозы облучения, приводящие к низкому уровню выживаемости ($10,0 \times 10^{-5}$) жизнеспособных клеток. Выживаемость облученных бактерий определяется обычно по количеству выросших колоний на полноценной среде (мясо-пептонный агар (МПА)) и минимальной среде М-9 с 20 % содержанием глюкозы и одной из 12 комбинаций факторов роста. Методами реплик-отпечатков выделено шесть биохимических (ауксотрофных) мутантов. Установлено, что они растут только на полноценной питательной среде (МПА) и не выделяются на минимальной глюкозо-солевой среде М-9.

Таким образом, при внесении ряда аминокислот в минеральную среду удалось повысить выживаемость облученных клеток штамма *S. typhimurium* 355. Использование среды М-9 и набора факторов роста (5 и 9), в которых имеется глутаминовая, аспарагиновая кислоты и фенилаланин, входящих в состав белков клеточной стенки грамотрицательных бактерий, показало, что ионизационное воздействие на бактерии привело к нарушению синтеза этих аминокислот в микробной клетке.

Нами исследованы биохимические свойства мутантов сальмонеллы мышинного тифа. Анализ свидетельствует об их низких сахаролитических свойствах. Опытами установлено, что патогенные признаки у мутантов утрачены. С клеточной стенкой (мембраной) связаны биохимические процессы, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность клетки и ее деление. Можно предположить, что любой фактор, повреждающий мембрану, приводит к изменению биохимии клетки, а при сложности строения мембран, любые нарушения обуславливают изменения биохимических процессов общего характера, в том числе и патогенности.

Обсуждая конечные итоги исследований, можно констатировать, что гамма-излучение является эффективным средством инактивации патогенной микрофлоры, имеющей эпизоотическое и эпидемиологическое значения. По результатам исследований выполнен проект экспериментально-производственной установки по обеззараживанию сточных вод в сельскохозяйственном предприятии «Боровляны» Минского р-на Республики Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Мясник М. Н. Генетический контроль радиочувствительности бактерий. М., 1984.
2. Ли Д. Е. Действие радиации на живые клетки: пер. с англ. М., 1988.
3. Lea D. E. Actions of radiation on living cells. Cambridge, 1946.
4. Павлович С. А. Микробиология с вирусологией и иммунологией. Минск, 2008.
5. Воробьев А. А., Быков А. С., Пашков Е. П. и др. Микробиология: учебник. М., 1998.
6. Гаевская Б. М. О природе радиочувствительности биологических объектов // Проблемы природной и модифицированной радиочувствительности. М., 1983. С. 67–75.
7. Bresler S. E., Noskin L. A., Stepanova J. M., et al. Mechanism of the Radioprotecting Action of Chemical Compounds on Escherichia coli Cells. // Mol. and Gen. Genet. 1978. Vol. 163, No 1. P. 75–85.
8. Бергельсон Л. Д. Биологические мембраны. М., 1975.
9. Бутомо Н. В., Гребенюк А. Н., Легеца В. И. и др. Основы медицинской радиобиологии. СПб, 2004.
10. Коггл Дж. Биологические эффекты радиации. М., 1986.
11. Жизнеспособность клеток, облученных в малых дозах / под ред. Т. А. Альпер. М., 1980.
12. Мясник М. Н., Скворцов В. Г. Роль генотипа в модификации кислородного эффекта у клеток Escherichia coli. // Проблемы природной и модифицированной радиочувствительности. М., 1983. С. 148–154.

References

1. Myasnik M. N. [Genetic control of the radiosensitivity of bacteria]. Moscow, 1984 (in Russ.).
2. Lea D. E. [Actions of radiation on living cells]. Moscow, 1988 (in Russ.).
3. Lea D. E. Actions of radiation on living cells. Cambridge, 1946.
4. Pavlovich S. A. [Microbiology with virology and immunology]. Minsk, 2008 (in Russ.).
5. Vorobev A. A., Bykov A. S., Pashkov E. P., et al. [Microbiology]: textbook. Moscow, 1998 (in Russ.).
6. Gaevskaya B. M. [About the nature of the radiosensitivity of biological object]. *Problems of natural and modified radiosensitivity*. M., 1983. P. 67–75 (in Russ.).
7. Bresler S. E., Noskin L. A., Stepanova J. M., et al. Mechanism of the Radioprotecting Action of Chemical Compounds on Escherichia coli Cells. *Mol. and Gen. Genet.* 1978. Vol. 163, No 1. P. 75–85.
8. Bergelson L. D. [Biological membranes]. Moscow, 1975 (in Russ.).
9. Butomo N. V., Grebenyuk A. N., Legeza V. I., et al. [Fundamentals of Medical Radiobiology]. St. Petersburg, 2004 (in Russ.).
10. Coggle J. [Biological Effects of Radiation]. Moscow, 1986 (in Russ.).
11. Alper. T. A. (ed.). [The viability of cells irradiated in small doses]. Moscow, 1980 (in Russ.).
12. Myasnik M. N., Skvortsov V. G. [The role of the genotype in the modification of the oxygen effect in Escherichia coli cells]. *Problems of natural and modified radiosensitivity*. Moscow, 1983. P. 148–154 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 02.11.2018.
Received by editorial board 02.11.2018.

УДК 631.61

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЕАБИЛИТАЦИИ БЫВШИХ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

О. А. МЕРЗЛОВА¹⁾

¹⁾Могилевский региональный центр социально-экономических исследований НИЭИ,
ул. Болдина, 4, 212030, г. Могилев, Беларусь

На основе изучения различных подходов использования понятия *реабилитация* в статье дана авторская трактовка восстановления радиационно опасных земель. Приведена концептуальная схема, включающая следующие этапы: подготовительный, юридической реабилитации, рекультивации и радиологической ремедиации. Подготовительному этапу отводится важная роль, поскольку от его успешного осуществления зависит взвешенность решения о возврате земель.

Изложены основные рекомендации по формированию стратегии возврата бывших радиационно опасных земель в сельскохозяйственное производство. Они предусматривают анализ потребностей землепользователей; учет эколого-экономических ограничений; планирование общего направления использования и целевого назначения земель. Предпосылками возврата земель служат общий дефицит пахотных или луговых земель, дефицит земель с низкими (^{137}Cs до 5,0 Ки/км² и ^{90}Sr до 0,50 Ки/км²) или средними (^{137}Cs до 15,0 Ки/км² и ^{90}Sr до 1,0 Ки/км²) плотностями загрязнения, потребность в более продуктивных землях, наличие в землепользовании участков, смежных с возвращаемыми.

Для производства товарной продукции экономически нецелесообразен возврат участков, требующих удаления крупного кустарника и мелколесья различной густоты. Не окупятся затраты на участках с густым мелколесьем, а также лесом различной густоты для лугового использования. Приоритет следует отдавать производству продукции на пищевые цели, затем производству кормов для откорма крупного рогатого скота (для реализации в зоне Таможенного союза), а также кормов для дойного стада.

Ключевые слова: радиационно опасные земли; реабилитация; эколого-экономическая оценка; возврат.

CONCEPTUAL APPROACH FOR THE REHABILITATION OF FORMER RADIATION HAZARDOUS LANDS

V. A. MIARZLOVA^a

^aMogilev Regional Center for Social and Economic Research, Economic Research Institute,
4 Boldzina Street, Mogilev 212030, Belarus

Various approaches to the use of the concept of *rehabilitation* are studied. The article presents the author's interpretation of the rehabilitation of radiation hazardous lands. The conceptual scheme of rehabilitation of radiation hazardous lands is given. It includes the preparatory phase, legal rehabilitation, remediation and radiological remediation. The preparatory phase has an important role to play. The balance of the decision on the return of land depends on its successful implementation.

In this regard, the main recommendations on the formation of a strategy for the return of former radiation-hazardous land in agricultural production are given. They include analysis of the needs of land users; consideration of environmental and economic constraints; planning of the guidelines of use and purpose of land. The prerequisites for the return of land are a shortage of arable or meadow land, a shortage of land with low (^{137}Cs to 185,0 kBq/m² and ^{90}Sr to 18,5 kBq/m²)

Образец цитирования:

Мерзлова О. А. Концептуальный подход к реабилитации бывших радиационно опасных земель // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 46–55.

For citation:

Miarzlova V. A. Conceptual approach for the rehabilitation of former radiation hazardous lands. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 46–55 (in Russ.).

Автор:

Мерзлова Ольга Александровна – научный сотрудник

Author:

Volha A. Miarzlova, scientific researcher
O-Merzlova@yandex.ru

or medium (^{137}Cs to 555,0 kBq/m² and ^{90}Sr to 37,0 kBq/m²) radionuclide contamination, the need for more productive land, the availability of land use adjacent to the returned. For the production of commercial products, it is not economically feasible to return sites requiring the removal of large shrubs and small forests of different density. The same refers to areas with dense undergrowth and a forest of different density. Priority should be given to the production of products for food purposes, then the production of feed for fattening cattle (for sale in the Customs Union zone), then – feed for milk cow.

Key words: radiation hazardous lands; rehabilitation; ecological and economic assessment; return.

Введение

Загрязнение земель долгоживущими радионуклидами вследствие аварии на Чернобыльской АЭС привело к тяжелым последствиям в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь и потребовало значительной корректировки практики ведения сельскохозяйственного производства.

Одной из радикальных мер в аграрной сфере стало выведение из оборота земель, на которых невозможно производство сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. Наиболее интенсивно данный процесс происходил в 1986–1989 гг. Общая площадь изъятых земель составила около 265 тыс. га. Позднее они получили статус радиационно опасных земель.

По данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь на 01.01.2018 г., после возврата некоторой части временно выведенных из оборота земель в ограниченное сельскохозяйственное пользование их площадь составляет 246,7 тыс. га. Значительная часть данной категории земель находится в пользовании лесохозяйственных организаций (42,4 %), организаций природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения (37,9 %), в запасе сельскохозяйственных организаций (15,2 %), а также земли, не предоставленные землепользователям, и земли общего пользования (9,6 %). Из них неиспользуемыми (в запасе) являются земли последних двух групп.

За годы, прошедшие после чернобыльской катастрофы, радиоэкологическая ситуация в стране существенно изменилась, поэтому на части земель появилась возможность производства нормально чистой продукции. Вопрос о реабилитации земель, признанных радиационно опасными более 25 лет назад, в отдаленный после аварии период становится более актуальным. Под реабилитацией радиационно опасных земель нередко понимают возможность их возврата в соответствии с предусмотренной законодательством процедурой. Однако понятие *реабилитация* достаточно многоплановое.

Цели исследования – уточнение понятия *реабилитация* земель на основе существующих теоретических и практических подходов; выработка предложений и рекомендаций по формированию стратегии возврата бывших радиационно опасных земель в сельскохозяйственное производство.

В задачи исследования входят: рассмотрение практики использования понятия *реабилитация*; обобщение выводов и предложений, полученных нами при формировании методического инструментария эколого-экономической оценки земель; разработка предложений по хозяйственному использованию земель, которые неоднократно опубликованы [1–4], осуществлены при помощи монографического, аналитического, абстрактно-логического методов.

Рекомендации по приоритетности возврата радиационно опасных земель являются синтезом бального метода и построения матрицы решений (табл. 1). Она основана на критериях радиологической пригодности земель и экономической целесообразности возврата.

Различия оценок земель для пахотного и лугового использования обусловлены характеристиками категории – *использование без ограничений*, которая предполагает соответствие санитарно-гигиеническим нормативам всех видов планируемой продукции, преимущественно на пищевые цели. На луговых землях данная продукция не производится, но, с точки зрения производственного потенциала лугов, его максимальная реализация возможна при производстве кормов. Поэтому категории земель с незначительными ограничениями, ориентированной на выполнение наиболее жестких нормативов (кормов для крупного рогатого скота по требованиям Таможенного союза), присвоены баллы, сопоставимые с категорией «использование без ограничений для пахотных» и т. д.

Таблица 1

Матрица приоритетности возврата земель на основе оценки вариантов комплексной эколого-экономической оценки [4-А]

Table 1

The matrix of priority of the return of land based on the assessment of integrated environmental and economic assessment

Радиологическая пригодность земель	Экономическая целесообразность			
	наиболее целесоо- бразно (3 балла)	целесообразно (2 балла)	допустимо (1 балл)	нецелесообраз- но (0 баллов)
Потенциально пахотопригодные земли				
Использование без ограничений (3 балла)	9 баллов 1 степень	6 баллов 2 степень	3 балла 4 степень	0 —
Использование с незначительными ограничениями (2 балла)	6 баллов 2 степень	4 балла 3 степень	2 балла 5 степень	0 —
Использование с сильными ограничениями (1 балл)	3 балла 4 степень	2 балла 5 степень	1 балл 6 степень	0 —
Использование недопустимо (0 баллов)	0 —	0 —	0 —	0 —
Потенциально луговые земли				
Использование с незначительными ограничениями (3 балла)	9 баллов 1 степень	6 баллов 2 степень	3 балла 4 степень	0 —
Использование с сильными ограничениями (2 балла)	6 баллов 2 степень	4 балла 3 степень	2 балла 5 степень	0 —
Использование недопустимо (0 баллов)	0 —	0 —	0 —	0 —

Результаты исследования и их обсуждение

Понятие *реабилитация* используется с некоторыми отличиями в отношении населения, территории как среды жизнедеятельности человека и земель как средства производства.

В концепции реабилитации населения и территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, понятие трактуется как «процесс совершенствования условий проживания населения и ведения хозяйственной деятельности на территории радиоактивного загрязнения с целью получения нормативной продукции и, как следствие, снижения радиоактивных нагрузок» [5]. Более часто в законодательных документах Республики Беларусь, Государственных программах по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС под реабилитацией понимают «комплекс мероприятий по снижению неблагоприятного воздействия радиоактивного загрязнения на население». В данном контексте термин нашел широкое применение в научных публикациях [6 и др.].

Согласно трактовке Международного агентства по атомной энергетике (МАГАТЭ), понятие *реабилитация* предполагает полное достижение условий, которые существовали до радиоактивного загрязнения. Обычно это не представляется возможным вследствие технических и экономических ограничений. Поэтому МАГАТЭ отдает предпочтение понятию ремедиация, которое подразумевает «...любые мероприятия, которые могут проводиться в целях снижения радиационного облучения, ...посредством мер, применяемых в отношении собственно радиоактивного загрязнения (источника) или путей поступления облучения к людям» [7; 8].

В практике большинства государств при составлении комплекса мероприятий по радиационной защите населения и компенсации полученного вреда используется взвешенный подход. Факторами принятия решений являются дозы и риски для населения, уровни содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды.

Реабилитация выведенных из оборота земель помимо проведения мероприятий по снижению дозовых нагрузок на население, подразумевает соблюдение определенной правовой процедуры. Согласно законодательству Республики Беларусь, исключение земель из категории радиационно опасных и перевод в хозяйственное пользование осуществляется решением Совета Министров на основании заключений экспертов и согласований отраслевых министерств. Подобное решение по своей логике соответствует юридическому понятию *реабилитация*, подразумевающему «...восстановление в правах, восстановление утраченного доброго имени...» [9].

Основанием для экспертного заключения служит анализ ключевых ограничивающих факторов: уровень радиоактивного загрязнения и риски с ним связанные, а также экономическое обоснование затрат,

необходимых для восстановления хозяйственной ценности. Последнее свидетельствует, что понятие реабилитации земель несколько шире, нежели юридический возврат в оборот.

Итак, реабилитация земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота как радиационно опасных, подразумевает наличие комплекса нормативно-правовых, рекультивационных и защитных сельскохозяйственных мероприятий, направленных на признание юридического права землепользователя на осуществление хозяйственной деятельности, возвращение сельскохозяйственной ценности земель и обеспечение производства сельскохозяйственной продукции с содержанием радионуклидов в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических нормативов. Концептуальная схема реабилитации выведенных из оборота радиоактивно загрязненных земель по своей логике соответствует трем этапам рекультивации: подготовительному, техническому и биологическому (рис. 1).

Наполненность каждого этапа определяется особенностями объекта. При этом на подготовительной стадии целесообразно выделить самостоятельный этап юридической реабилитации.

Современная специфика земель, выведенных из оборота как *радиационно опасные*, состоит не только в радиоактивном загрязнении, но и в частичной утрате и деактуализации исходной информации, исторически сложившемся сельскохозяйственном назначении, обширной площади и пространственной разрозненности. Эти факторы определяют перечень мероприятий подготовительной стадии реабилитации: потребность уточнения ведомственной принадлежности, территориальной привязки земель, обоснования сельскохозяйственного направления использования (луговое, пахотное).

Как правило, на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных землях на первый план выходят методы по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. Однако земли, выведенные из оборота 30 лет назад, к настоящему времени характеризуются значительной культурно-технической неустроенностью вследствие процессов зарастания древесно-кустарниковой растительностью, закочкаривания, заболачивания, закислением почв и т. п. Только после устранения данных проявлений деградации возможно осуществление специальных мероприятий по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.



Рис. 1. Концептуальная схема реабилитации земель, выведенных из оборота как *радиационно опасные*

Fig. 1. Conceptual scheme of rehabilitation of lands withdrawn from the turnover as the *radiation threat*

Однако известно, что мероприятия по восстановлению земель достаточно капиталоемкие. Их проведение должно быть экономически обосновано. Именно поэтому эколого-экономической оценке отводится важное место. Данная информация позволяет принять решение о возможности возврата земель и является основой планирования мероприятий по их экологическому и экономическому восстановлению.

Формирование стратегии вовлечения земель в оборот, помимо соблюдения нормативно-правовых актов, должно быть подчинено учету интересов различных сторон. Государственным интересом является рациональное использование земли как основного производственного ресурса. Для сельскохозяйственных предприятий вовлечение дополнительных площадей обусловлено производственными потребностями. Органы исполнительной власти обеспечивают организацию и гарантируют правомочность процедуры возврата. Независимо от роли и иерархической подчиненности каждая из сторон должна руководствоваться рядом принципов и рекомендаций:

1. Формирование стратегии должно основываться на **анализе потребностей** в земельных ресурсах (табл. 2). Ими могут служить общий дефицит сельскохозяйственных земель, либо земель с предельно допустимыми плотностями загрязнения для возделывания отдельных групп культур. Причинами дефицита в первом случае, как правило, служат увеличение доведенных планов по объему производства товарной продукции, рост поголовья скота, изменение специализации животноводства. Во втором – большой удельный вес земель, имеющих ограничения для гарантированного производства нормативно чистой продукции (загрязнение ^{137}Cs выше $5,0 \text{ Ки/км}^2$ и ^{90}Sr выше $0,50 \text{ Ки/км}^2$, а в некоторых случаях ^{137}Cs выше $15,0 \text{ Ки/км}^2$ и ^{90}Sr выше $1,0 \text{ Ки/км}^2$).

Таблица 2

Приоритеты возврата бывших радиационно опасных земель на основе анализа потребностей землепользователей

Table 2

Priorities of return of the former radiation hazardous lands on the basis of the analysis of needs of land users

Предпосылки для возврата земель	Причины возникновения потребности	Приоритеты по степени пригодности и направлению использования земель
Дефицит сельскохозяйственных земель	Увеличение плана по объему производства товарной продукции	1–6 (пахотное)
	Увеличение поголовья скота. Изменение специализации животноводства	1–5 (луговое)
Дефицит земель с предельно допустимыми плотностями загрязнения	^{137}Cs свыше $5,0 \text{ Ки/км}^2$ ^{90}Sr свыше $0,50 \text{ Ки/км}^2$	1–3 (пахотное и луговое)
	^{137}Cs свыше $15,0 \text{ Ки/км}^2$ ^{90}Sr свыше $1,00 \text{ Ки/км}^2$	1–6 (пахотное и луговое)
Низкая продуктивность земель пользователя	Низкое естественное плодородие	1–3 (пахотное) 1–3 (луговое)
Большая площадь предприятия и плечо перевозки в пределах землепользования	Укрупнение предприятия.	1–6 (пахотное)
	Наличие в структуре землепользования запольных участков	1–5 (луговое)

При дефиците земель с низкими плотностями загрязнения в оборот следует вовлекать земли 1–3 степени пригодности. При дефиците земель со средними плотностями загрязнения целесообразен возврат земель всех выделенных степеней пригодности.

Одной из причин возрастания потребности в дополнительных землях становится низкий потенциал естественного плодородия почв в составе землепользования предприятия и, как следствие, низкая продуктивность. Потребность в более продуктивных землях может быть удовлетворена за счет земель 1–3 степеней пригодности.

Тенденцией последнего десятилетия стало укрупнение сельскохозяйственных предприятий. Существуют примеры, когда границы землепользования сопоставимы с административными границами района. В этом случае расстояние производительных и холостых пробегов сельскохозяйственной техники и транспортных средств достаточно велики. Увеличение зоны обслуживания территориально близких участков сократит удельные транспортные расходы.

2. **Эколого-экономическое обоснование** – важный компонент подготовительного этапа возврата бывших радиационно опасных земель. Составляется на основе актуальных данных радиологического, культуртехнического состояния и агропроизводственных характеристик.

Минимальными ограничениями, позволяющими обеспечить радиационную безопасность персонала, являются мощность дозы γ -излучения 0,6 мкЗв/ч и выше, плотность загрязнения почвы ^{137}Cs 40,0 Ки/км², ^{90}Sr 3,0 Ки/км² и выше.

Для соблюдения Республиканских допустимых уровней санитарно-гигиенических нормативов (РДУ-99) в продукции при ее реализации в пределах Таможенного союза (ТР ТС 021/2011) ограничением служат предельно-допустимые уровни загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr , рассчитанные с учетом почвенных характеристик. В соответствии с ними земли делятся на категории пригодности: использование без ограничений, использование с незначительными ограничениями, использование с сильными ограничениями, использование недопустимо [4].

Экономическим критерием целесообразности возврата земель является срок окупаемости затрат на культуртехническую мелиорацию. На основе анализа разработанных шкал экспресс-оценки срока окупаемости затрат [1–3] выделены комбинации культуртехнических и производственных характеристик участков, которые в разной степени целесообразно, допустимо либо недопустимо вовлекать в оборот с учетом направлений использования (табл. 3).

Таблица 3

Группировка характеристик участков по категориям экономической целесообразности возврата для товарной продукции

Table 3

Grouping of characteristics of sites by categories of economic feasibility of return for commercial products

Характеристики	Нецелесообразно	Допустимо	Целесообразно	Наиболее целесообразно
Заболоченность, %	20 и более	6–19	6–19	менее 5
Закочкованность, %	20 и более	6–19	6–19	менее 5
Покрытие ДКР, %	менее 5	менее 5	менее 5	менее 5
Тип растительности	любой	любой	любой	любой
Диаметр стволов, см	не ограничен	не ограничен	не ограничен	не ограничен
Удаленность (дополнительно), км	25 км и более	15–20	до 15	в пределах границ пользователя
Покрытие ДКР, %	редкая, средняя	редкая	редкая	—
Тип растительности	кустарник	кустарник	кустарник	—
Диаметр стволов, см	до 5	до 5	до 5	—
Удаленность (дополнительно), км	15 и более	5–10	в пределах границ пользователя	—
Покрытие ДКР, %	густая	средняя	—	—
Тип растительности	кустарник	кустарник	—	—
Диаметр стволов, см	до 5	до 5	—	—
Удаленность (дополнительно), км	15 и более	до 10	—	—
Покрытие ДКР, %	густая	густая	—	—
Тип растительности	кустарник	кустарник	—	—
Диаметр стволов, см	до 5	до 5	—	—
Удаленность (дополнительно), км	10 и более	до 5	—	—
Покрытие ДКР, %	редкая, средняя, густая	—	—	—
Тип растительности	кустарник, мелколесье, лес	—	—	—
Диаметр стволов, см	6 и более	—	—	—
Удаленность (дополнительно), км	в границах пользователя	—	—	—

Многообразие выделенных комбинаций свидетельствует о необходимости сбалансированного учета характеристик участка. Обобщение в пределах одной экономической категории позволяет сделать вывод, что для производства товарной продукции *наиболее целесообразным* является возврат участков с минимальными проявлениями деградации: заболоченность и закочкованность менее 5 %, степень покрытия любым типом ДКР менее 5 %. Их возврат требует минимальных затрат, которые окупятся в течение 3-х лет в случае размещения участка в пределах границ землепользователя (в среднем до 15 км) [1].

Целесообразно увеличение плеча перевозки до 15 км при наличии любого типа ДКР менее 5 %, либо наличии редкого кустарника толщиной стволов до 5 см в сложившихся границах землепользования (в среднем до 15 км). При этом допускается закочкованность до 20 %, заболоченность поверхности, не требующая осушения, – до 10 %. Эта группа характеризуется краткосрочным периодом окупаемости.

Допустимо использование участков, покрытых редким, средним или густым кустарником толщиной стволов до 5 см при различных вариантах увеличения плеча перевозки, не превышающим 10 км. А также чистых от ДКР участков (менее 5 %) при дополнительном удалении на 15–20 км. Данная группа имеет долгосрочную окупаемость затрат.

Категория *возврат нецелесообразен* поглощает большое разнообразие культуртехнических и производственных характеристик. В среднем это участки, покрытые крупным кустарником (толщиной стволов от 6 см) и мелколесьем (11–18 см), деревьями различной густоты, удаленность которых относительно центра средоточия техники возрастает на 15 км и более.

При планировании кормопроизводства для соблюдения баланса интересов производителей и государства наиболее реалистичным является вариант, когда затраты на коренное улучшение осуществляются за счет средств предприятия и включаются в себестоимость продукции, а культуртехнические работы финансируются из бюджета.

В этом случае для полевого кормопроизводства при дополнительной удаленности до 30 км *наиболее целесообразен* возврат участков с отсутствием ДКР, целесообразно удаление мелкого кустарника (до 5 см) независимо от густоты, допустима корчевка редкого мелколесья (табл. 4).

При необходимости сводки среднего и густого мелколесья, а также валки деревьев различной густоты возврат земель для полевого кормопроизводства *нецелесообразен* даже при размещении в пределах границ землепользователя.

Для лугового использования *наиболее целесообразен* возврат земель, не требующих удаления ДКР, или при наличии мелкого кустарника средней густоты независимо от удаленности. При ограничении удаленности для среднего (20 км) и густого кустарника (10 км) до 6 см. Возврат *целесообразен* при наличии средне и густого кустарника при удаленности до 30 км.

Таблица 4

Группировка характеристик участков по категориям экономической целесообразности возврата для кормопроизводства

Table 4

Grouping of characteristics in categories of economic feasibility of a return feed

Характеристики участка	Нецелесообразно	Допустимо	Целесообразно	Наиболее целесообразно
<i>Полевое кормопроизводство</i>				
Заболоченность, %	30 и более	6–29	6–29	менее 5
Закочкованность, %	20 и более	6–19	6–19	менее 5
Покрытие ДКР, %	средняя, густая	редкая	редкая средняя, густая	менее 5
Тип растительности	кустарник, мелколесье	мелколесье	кустарник	любой
Диаметр стволов, см	6–18	6–18	до 5	не ограничен
Удаленность (дополнительно), км	в пределах границ пользователя	до 30	до 30	до 30
Покрытие ДКР, %	редкая, средняя, густая	—	—	—
Тип растительности	кустарник, мелколесье и лес	—	—	—
Диаметр стволов, см	6 и более	—	—	—
Удаленность (дополнительно), км	в пределах границ пользователя	—	—	—
<i>Луговое кормопроизводство</i>				
Заболоченность, %	30 и более	11–29	11–29	менее 10
Закочкованность, %	20 и более	11–19	11–19	менее 10
Покрытие ДКР, %	редкая, средняя, густая	редкая, густая,	средняя	менее 5
Тип растительности	кустарник, мелколесье и лес	кустарник, мелколесье	кустарник	любой
Диаметр стволов, см	6 и более	6–18	до 5	не ограничен
Удаленность (дополнительно), км	в пределах границ пользователя	до 30	до 20–30	до 30

Окончание табл. 4

Ending table 4

Характеристики участка	Нецелесообразно	Допустимо	Целесообразно	Наиболее целесообразно
Покрытие ДКР, % Тип растительности Диаметр стволов, см Удаленность, км	—	густая кустарник, мелколесье 6–18 до 30	густая кустарник До 5 10–30	редкая кустарник до 5 до 30
Покрытие ДКР, % Тип растительности Диаметр стволов, см Удаленность, км	—	—	редкая кустарник, мелколесье 6–18 до 30	средняя, кустарник до 5 до 20
Покрытие ДКР, % Тип растительности Диаметр стволов, см Удаленность, км	—	—	—	густая кустарник до 5 до 10

Примечание. В качестве удаленности указано расстояние от участка до границ землепользователя.

Допустимо – при необходимости корчевки крупного кустарника (толщина 6–11 см) и мелколесья при различной густоте и удаленности участка до 30 км. В остальных случаях затраты, необходимые для возврата участков, экономически не оправданы.

3. Временные акценты возврата земель. Многовариантность результатов комплексной оценки укладывается в схематичную модель зонирования установленных степеней пригодности (рис. 2). Выделены четыре зоны пригодности использования земель. Их формирование происходит на основе установленных (приведенных выше) ограничений. Первые три зоны охватывают поле положительных решений и сформированы путем равномерного его разделения: зона максимальной пригодности (зона I), средней пригодности (зона II), ниже средней (зона III) пригодности. Зона IV находится за пределами допустимости.

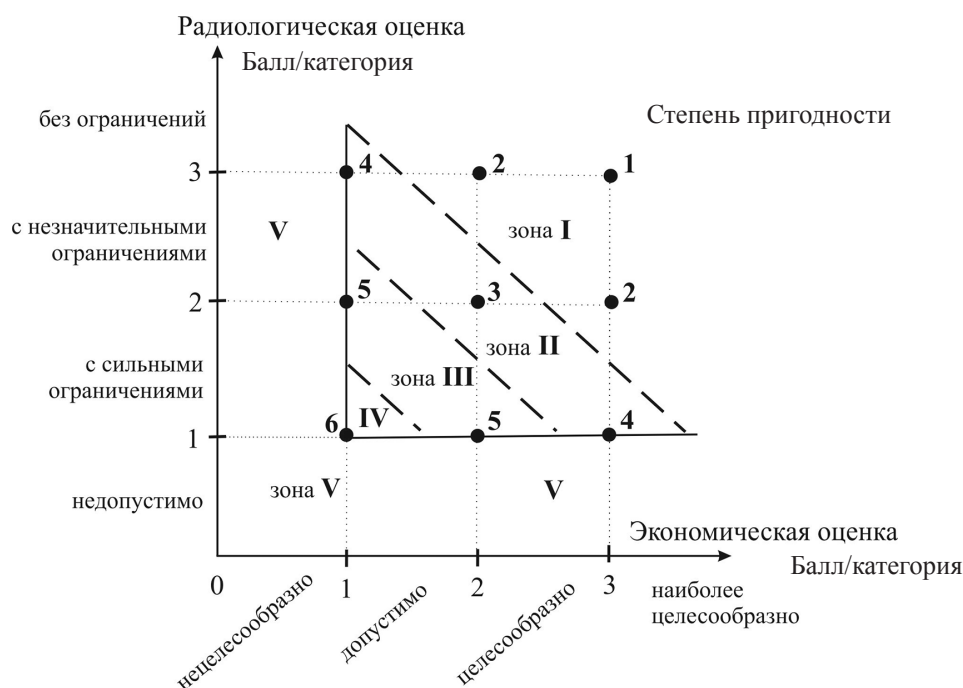


Рис. 2. Схема определения пригодности и очередности возврата земель

Fig. 2. Scheme for determining the suitability and priority of land return

Данная схема позволяет расставить временные акценты возврата земель. Первая и вторая степени пригодности земель попадают в группу для первоочередного возврата. Их преимущества: обеспечение санитарно-гигиенических нормативов по максимальному перечню продукции растениеводства

и наименьший срок окупаемости затрат на культуртехническую мелиорацию. Последнее преимущество утрачивается со временем, поэтому его следует использовать в краткосрочной перспективе (до 3 лет после обследования). В группу первоочередного возврата отнесены земли третьей степени пригодности, которая образует некий оптимум, баланс экологической и экономической составляющей.

Четвертая степень пригодности является выражением полярных оценок, когда в превосходстве находится одна из составляющих. При умелом использовании данного преимущества группа земель может быть отнесена к возврату в первую очередь. Это наиболее применимо в случае превосходства экономической составляющей.

Начиная с 5-й степени пригодности, земли допускается вовлекать в оборот во-вторую очередь (4–5 лет). За данный период существенного изменения культуртехнических характеристик не произойдет, при этом продолжится процесс стабилизации радиационной обстановки.

4. Планирование направлений использования – важный этап возврата загрязненных земель в сельскохозяйственное производство.

При разработке инструментов экономической оценки выявлено преимущество по сроку окупаемости кормов перед товарными видами продукции, некоторые опережение полевого кормопроизводства в сравнении с луговодством. Однако истоки данных тенденций заложены в методике расчета условной прибыли от производства кормов, которая в определенной мере нивелирует экономические недостатки.

Эта особенность использована в методике определения приоритетности возврата земель. Она заключается в различии балльных оценок для пахотного и лугового направления использования. Однако разница оценок лишь подчеркивает более высокие требования к пахотным землям и их эксклюзивность в части производства товарной продукции, используемой главным образом на пищевые цели.

Производство продукции растениеводства на товарные цели имеет другие неоспоримые преимущества. На загрязненных радионуклидами пахотных землях они состоят в максимальной гарантированности выполнения нормативов по содержанию радионуклидов в продукции. Это достигается за счет широкой дифференциации защитных мероприятий именно на пахотных землях. Экономическое преимущество пахотного использования земель состоит в получении продукции с высокой добавленной стоимостью, обладающей товарностью, что ускоряет оборачиваемость оборотных средств предприятия, способствует окупаемости производственных затрат.

В связи с приведенными доводами при пригодности земель для обоих направлений следует отдавать предпочтение пахотному использованию. В свою очередь расширение луговых земель более рационально осуществлять за счет пойменных лугов и прочих участков, не пригодных для пахотного использования.

5. При вовлечении радиоактивно загрязненных земель в оборот для гарантированного обеспечения санитарно-гигиенических нормативов в части содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr следует придерживаться рекомендаций по допустимости возделывания тех или иных культур.

При возможности возделывания значительного перечня культур приоритет следует отдавать производству продукции на пищевые цели, затем производству кормов для откорма крупного рогатого скота (для реализации в зоне Таможенного союза), а также кормов для дойного стада.

6. Формирование севооборотов с учетом окупаемости затрат на культуртехническую мелиорацию. Среди товарных культур наибольшую окупаемость может обеспечить возделывание озимой и яровой пшеницы с содержанием клейковины более 23 %, гороха продовольственного. На втором месте по экономической эффективности возделывания: озимая и яровая пшеницы на продовольственные цели с содержанием клейковины более 18 %, озимая рожь на продовольственные цели, семена рапса на масло. При этом наибольший эффект достигается при балле плодородия почв 26 и выше.

Производство овса на данных землях (как и в целом в республике) с 1-го по 4-й класс и прочих зерновых и бобовых культур, используемых на фуражные цели, является убыточным и не может окупить вложенных средств.

Экономические преимущества использования земель в производстве кормов могут уравновесить низкую эффективность отдельных товарных культур. Производство зеленой массы сеяных многолетних и однолетних трав, сенажа и кукурузного силоса, а также луговое использование обеспечивает окупаемость вложений при значительной дифференциации культуртехнических и агропроизводственных характеристик участков.

7. Планирование объема мероприятий по реабилитации. Результаты оценки культуртехнической неустроенности земель являются основой планирования объема работ по рекультивации земель. Объем защитных мероприятий определяется соответствующей инструкцией на основании данных радиологического и агрохимического обследования почв.

Заключение

Реабилитация радиационно опасных земель представляет собой комплекс нормативно-правовых, рекультивационных и защитных сельскохозяйственных мероприятий, направленных на признание юридического права землепользователя на осуществление хозяйственной деятельности, восстановление сельскохозяйственной ценности земель и обеспечение производства сельскохозяйственной продукции с содержанием радионуклидов в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических нормативов. При этом следует придерживаться принципа эколого-экономической сбалансированности.

В процессе реабилитации радиационно опасных земель важнейшая роль отводится подготовительному этапу. Особого внимания заслуживает анализ потребностей землепользователей; учет эколого-экономических ограничений; планирование целевого назначения земель. Предпосылками возврата земель служат общий дефицит пахотных или луговых земель, дефицит земель с низкими (^{137}Cs до $5,0 \text{ Ки/км}^2$ и ^{90}Sr до $0,50 \text{ Ки/км}^2$) или средними (^{137}Cs до $15,0 \text{ Ки/км}^2$ и ^{90}Sr до $1,0 \text{ Ки/км}^2$) плотностями загрязнения, потребность в более продуктивных землях, наличие в землепользовании участков, смежных с возвращаемыми. Нецелесообразен возврат участков, покрытых крупным кустарником и мелколесьем различной густоты при производстве товарной продукции. На чистых участках предельным является прирост удаленности от центра средоточия техники на 15 км, балл плодородия ниже 26. При производстве кормов в полевых условиях критичным является наличие среднего и густого мелколесья, а также леса совместно с крупным кустарником и мелколесьем. Для лугового использования – покрытие густым мелколесьем, а также лесом различной густоты, независимо от остальных показателей, балл плодородия ниже 15. Первоочередному возврату подлежат участки 1–4 степени пригодности, во вторую очередь – 5–6 степени. Временными рамками для них служат сроки 1–3 года и 4–5 лет. Приоритет следует отдавать производству продукции на пищевые цели, затем производству кормов для откорма крупного рогатого скота (по нормативам Таможенного союза), а также кормов для дойного стада.

Библиографические ссылки

1. Мерзлова О. А. Разработка параметров целесообразности возвращения загрязненных радионуклидами земель в сельскохозяйственное производство // Вестник БГСХА. 2011. №1. С. 33–37.
2. Мерзлова О. А. Совершенствование инструментария оценки целесообразности возвращения в сельскохозяйственный оборот загрязненных радионуклидами земель // Аграрная экономика. 2018. № 8. С. 38–47.
3. Мерзлова О. А., Цыбулько Н. Н. Радиологическое и экономическое обоснование возврата радиационно опасных земель в сельскохозяйственное пользование // Мелиорация. 2018. № 3 (85). С. 85–93.
4. Мерзлова, О. А., Шапшеева Т. П. Комплексная оценка возможности возвращения в сельскохозяйственное производство земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58. № 5. С. 535–547.
5. Агеев В. Ю., Аверин В. С., Жученко Ю. М. и др. Концепция реабилитации населения и территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Минск, 2003.
6. Агеев В. Ю., Цыбулько Н. Н., Барашенко В. В. и др. Методические указания по реабилитации земель, выведенных из сельскохозяйственного землепользования после чернобыльской катастрофы. Гомель, 2006.
7. Абалкин И. Л., Иорданов А. С., Паньченко С. В. Формирование подходов к развитию правового регулирования вопросов реабилитации радиоактивно загрязненных территорий // Ядерная и радиационная безопасность России. 2013. Вып. 14. С. 42–59.
8. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты // Пуб. 1290. Вена, 2007.
9. Советский энциклопедический словарь / под. ред. А. М. Прохорова. М., 1988.

References

1. Miarzlova V. A. [Development of production of radionuclides contaminated the feasibility of vozvrashenie agricultural production]. *Bulletin of the BSAA*. 2011. No 1. P. 33–37 (in Russ.).
2. Miarzlova V. A. [Improvement of tools for assessing the feasibility of returning to agricultural use contaminated lands]. *Agrarian economy*. 2018. No 8. P. 38–47 (in Russ.).
3. Miarzlova V. A., Tsybulko N. N. [Radiological and economic justification of return of radiation hazardous lands to agricultural use]. *Melioration*. 2018. No 3 (85). P. 85–93 (in Russ.).
4. Miarzlova V. A., Shapsheeva T. P. [Integrated assessment of the possibility of returning to agricultural production of lands subjected to radioactive contamination]. *Radiation biology. Radioecology*. 2018. Vol. 58, No 5. P. 535–547 (in Russ.).
5. Ageets V. Yu., Averin V. S., Zhuchenko Yu. M., et al. [The concept of rehabilitation of the population of the territory of the year, as a result of the Chernobyl disaster]. Minsk, 2003.
6. Ageets V. Yu., Tsybulko N. N., Barashenko V. V., et al. [Methodical instructions on rehabilitation of the lands removed from agricultural land use after Chernobyl accident]. Gomel, 2006 (in Russ.).
7. Abalkin I. L., Jordanov A. S., Panchenko S. V. [Formation of approaches to the development of legal regulation of rehabilitation of radioactively contaminated areas]. *Nuclear and radiation safety of Russia*. 2013. Vol. 14. P. 42–59 (in Russ.).
8. [The IAEA Glossary on security issues. Terminology in the field of nuclear safety and radiation protection]. *Publ. 1290*. Vena, 2007.
9. Prokhorov A. M. (ed.) [Soviet encyclopedia of owls boiler]. Moscow, 1988 (in Russ.).

УДК 616.832-004.21

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ БИОМАРКЕРОВ ПРИ РАССЕЯННОМ СКЛЕРОЗЕ

М. М. ЗАФРАНСКАЯ^{1), 2)}

¹⁾Международный государственный институт имени А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусская медицинская академия последипломного образования,
ул. П. Бровки, 3/3, 220013, г. Минск, Беларусь

Рассеянный склероз (РС) – классическое нейровоспалительное заболевание, вовлекающее в патогенез аберрантный баланс Т-, В- и миелоидных клеток (включающих микроглию), которые являются потенциальными мишенями для проявления биомаркеров. В настоящее время на основании проспективных рандомизированных клинических исследований валидизированы генетические и клеточные биомаркеры, позволяющие адекватно оценить / отразить все аспекты повреждения при РС со стороны иммунной системы и осуществить персонифицированный подход к назначению селективной иммунотерапии с учетом воспалительного статуса, клеточной и гуморальной сенсibilизации пациента. Однако для трансляции полученных результатов в клиническую практику необходимы дополнительные исследования.

Биомаркеры – объективные индикаторы физиологических и патологических процессов и могут быть использованы для диагностики, прогноза и терапевтических целей в клинической ситуации. Идентификация подтвержденных биомаркеров при РС может представлять собой исключительный интерес с точки зрения разработки специфических методов прогнозирования терапевтической эффективности и персонификации протокола лечения.

Образец цитирования:

Зафранская М. М. Диагностическое значение биомаркеров при рассеянном склерозе // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 56–64.

For citation:

Zafranskaya M. M. Diagnostic value of biomarkers in multiple sclerosis. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 56–64 (in Russ.).

Автор:

Марина Михайловна Зафранская – доктор медицинских наук, доцент; заведующий кафедрой иммунологии и экологической эпидемиологии; главный научный сотрудник НИЛ.

Author:

Marina M. Zafranskaya, doctor of science (medicine), docent; head at the department of immunology and environmental epidemiology; principal researcher at the research of laboratory zafranskaya@gmail.com

Ключевые слова: биомаркеры; рассеянный склероз; персонификация.

DIAGNOSTIC VALUE OF BIOMARKERS IN MULTIPLE SCLEROSIS

M. M. ZAFRANSKAYA^{a, b}

^a*International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus*

^b*Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education,
3/3 P. Broŭki Street, Minsk 220013, Belarus*

Multiple sclerosis (MS) is a classic neuroinflammatory disease involving the aberrant balance of T-, B- and myeloid cells (including microglia), which are potential targets for the manifestation of biomarkers. Presently, based on prospective randomized clinical trials, genetic and cell biomarkers allowing adequately disclosing / assessing all aspects of the immune system damage due to MS and to personalize the selective immunotherapy taking into account the inflammatory status, cellular and humoral sensitization of a patient have been validated. However, additional studies are required to implement the obtained results into clinical practice.

Biomarkers are objective indicators of physiological and pathological processes; in clinical settings, they can be used as a diagnostic, prognostic and therapeutic tool. In MS, the identification of definite biomarkers may be of exceptional interest for developing specific prognostic methods to predict therapeutic efficacy and personalize the treatment protocol.

Keywords: biomarkers; multiple sclerosis; personification.

Введение

Рассеянный склероз (РС) – хроническое мультифакториальное прогрессирующее демиелинизирующее заболевание центральной нервной системы (ЦНС) с выраженными воспалительным, миелин- и аксон-дегенеративным компонентами и вовлечением клеток иммунной системы в развитие патологического процесса [1–4]. Ассоциация заболевания с генами главного комплекса гистосовместимости (МНС – major histocompatibility complex), наличие клеточных инфильтратов в ЦНС, возможность создания экспериментальной модели болезни, а также эффект иммуносупрессивной терапии свидетельствуют о ведущей роли аутоиммунных процессов в патогенезе РС.

Для РС характерно нарушение баланса между регуляторными и потенциально миелин-реактивными клонами Т-лимфоцитов с последующим развитием специфического Т-клеточного иммунного ответа, эффекторные реакции которого направлены на повреждение компонентов миелиновой оболочки аксонов [1; 5]. В связи с этим новые подходы к терапии РС должны заключаться в отмене иммуномодулированного повреждения посредством модулирования или индукции толерантности в сочетании с обеспечением защиты ткани ЦНС и, в идеале, с поддержкой функциональной регенерации как невральных клеток, так и процессов миелинизации.

Разнообразие клинических и патологических проявлений у пациентов с РС свидетельствует о сложных и комплексных механизмах активации Т-лимфоцитов и иммунной реакции в ЦНС [6; 7]. Для инициации воспалительных процессов в ЦНС миелин-специфические Т-клетки должны активироваться на периферии, проникнуть в ЦНС и впоследствии реактивироваться антиген-презентирующими клетками (АПК), представляющими миелиновые аутоантигены (аутоАг) Т-лимфоцитам. Реактивация Т-лимфоцитов приводит к продукции различными клетками провоспалительных медиаторов, дополнительно привлекающих клетки иммунной системы в очаг воспаления, и развитию демиелинизирующих процессов (рис.) [8].

Биомаркеры в оценке эффективности лечения и прогноза течения рассеянного склероза

В последние десятилетия пациентам с РС стали доступны разнообразные новые терапевтические технологии, направленные на модификацию клинического течения заболевания. Однако эффективность терапии у конкретного пациента оценить сложно вследствие отсутствия объективных методов контроля результативности. С недавних пор предложено несколько биомаркеров, позволяющих оценить терапевтический эффект: определение концентрации белков, отражающих активность заболевания и другие аспекты патофизиологического процесса, такие как оксидативный стресс, иммунная дисрегуляция/регуляция и нейродегенерация. Практическое использование этих биомаркеров позволит оптимизировать тактику терапевтического ведения [9; 10].

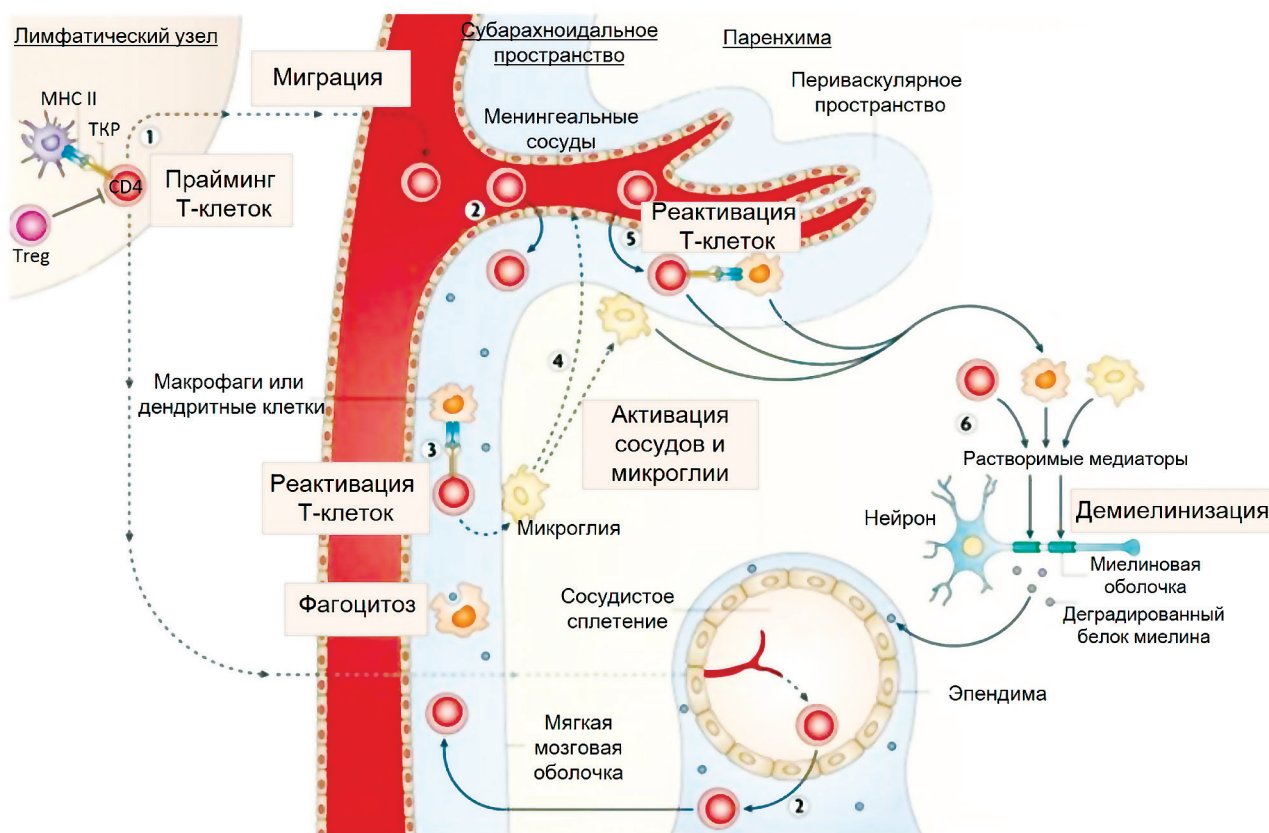


Рис. Периферическая и центральная активация миелин-специфических лимфоцитов [8]:

Т-лимфоциты праймируются на периферии дендритными клетками (ДК), презентующими миелиновые (или кросс-реактивные) эпитопы. Антиген-презентирующие клетки (АПК) в ЦНС поглощают аутоАг *in situ* и мигрируют в цервикальные лимфатические узлы. Кроме того, растворимые миелиновые Аг могут дренироваться из ЦНС в лимфатические узлы, где фагоцитируются локальными АПК (1). Т-клетки проникают в субарахноидальное пространство (2). Т-клетки реактивируются макрофагами и ДК, экспрессирующими миелиновые эпитопы в комплексе с молекулами МНС II (3). Реактивированные Т-лимфоциты стимулируют расположенные под мягкой мозговой оболочкой клетки микроглии, активируя тем самым дистальные клетки и кровеносные сосуды (4).

Активированные Т-клетки прикрепляются и пересекают ГЭБ, проникают в периваскулярное пространство и реактивируются периваскулярными макрофагами и ДК (5). Т-клетки проникают в паренхиму и, совместно с активированными макрофагами и клетками микроглии, секретируют растворимые медиаторы, индуцирующие механизмы демиелинизации (6). T_{Reg} – регуляторные Т-лимфоциты

Fig. Peripheral and CnS activation of myelin-specific lymphocytes [8]:

T cells are primed in the periphery by dendritic cells (DCs) presenting myelin (or myelin crossreactive) epitopes.

Antigen-presenting cells (APCs) residing in the CNS can capture myelin antigens *in situ* and migrate to the cervical lymph nodes. Alternatively, soluble myelin antigens can drain from the CNS to lymph nodes to be phagocytized by local APCs (1). T cells enter the subarachnoid space (2); the T cells are re-activated within the subarachnoid space by MHC class II-expressing macrophages and DCs expressing myelin epitopes (3). Reactivated T cells activate microglial cells in the subpial region, triggering activation of distal microglial cells and blood vessels (4). Activated T cells adhere to and cross the activated blood–brain barrier, enter the perivascular space and are reactivated by perivascular macrophages and DCs (5). T cells enter the parenchyma and, together with activated macrophages and microglial cells, secrete soluble mediators that trigger demyelination (6). T_{Reg} , regulatory T

Патологический процесс при РС является гетерогенным: на ранних стадиях заболевания преобладают воспалительные процессы (рецидивно-ремиттирующая форма РС), но по истечении определенного времени болезнь переходит в дегенеративную стадию, ассоциированную с разрушением аксонов и образованием бляшек. Для лечения рецидивно-ремиттирующей формы РС существует большое количество препаратов, модифицирующих течение заболевания с различной индивидуальной эффективностью в уменьшении числа обострений, стабилизации неврологических показателей, улучшением данных МРТ и т. д. Однако предсказать клинический эффект и принять адекватное терапевтическое решение нередко бывает чрезвычайно сложно.

Гетерогенное течение РС не позволяет прогнозировать терапевтический эффект препаратов, модифицирующих течение. До настоящего времени оценка эффективности проводится с использованием

клинических параметров: нейровизуализации (МРТ), нейрофизиологических исследований, метода оптической когерентной томографии (ОКТ). В случае субклинического течения болезни, особенно при вовлечении серого вещества и спинного мозга, чувствительность данных параметров снижается. Таким образом, возникает потребность в идентификации чувствительных, недорогих и специфических суррогатных маркеров терапевтической эффективности. Идентификация и валидация биомаркеров чрезвычайно важна для оптимальной стратегии терапии РС [11].

Современные научные исследования направлены на поиск и валидацию биомаркеров, которые позволили бы реально оценить развитие заболевания и эффективность применяемой терапии. В настоящее время в качестве биомаркеров рассматривают нейтрализующие антитела (Ат) к препаратам, модифицирующим лечение, – это остеоопонтин [12–14], лиганды к хемокинам (С-ХС motif CXCL13) [15], легкие и тяжелые нейрофиламенты [16; 17], HGF [18], хитиназа 3-подобный белок. Таким образом, применение более современных технологий (изучение экспрессии генов и аутоантител, исследование микроРНК) может выявить новых кандидатов. Идентификация клинически пригодных биомаркеров позволит не только усовершенствовать практику индивидуализированной медицины, но и получить определенный экономический эффект в рамках разработки инновационных технологий при проведении клинических испытаний.

При исследовании сыворотки и спинномозговой жидкости (СМЖ) можно получить дополнительную информацию. Например, олигоклональные полосы и иммуноглобулин G в СМЖ позволяет диагностировать нейровоспаление в ЦНС. Сывороточные биомаркеры, которые позволяют отделить РС от других воспалительных заболеваний ЦНС, включают Ат к аквапорину 4 (aquaporin, AQP4). Другие биомаркеры, которые могут определяться до начала терапии или в случае изменении терапевтического подхода, включают IFN- β -нейтрализующие Ат, анти-JC Ат, лимфопению и количество В-лимфоцитов. По результатам проведенного метаанализа показано, что продукция интратекального IgG и уровень легких цепей нейрофиламентов (NFL – neurofilament light chain) в СМЖ отражают ранние процессы нейродегенерации при РС и имеют диагностическую ценность в прогнозе заболевания [17].

Прогресс в изучении биомаркеров наметился с 2009 г. [19]. В случае валидации биомаркеров их применение в клинике приведет к сокращению сроков и стоимости фазы III клинического испытания. Используемые в настоящее время показатели клинической эффективности (данные МРТ, частота обострений и т. д.) требуют наблюдения в течение 2–3 лет, тогда как биомаркеры способны предсказать существенные изменения спустя 6 месяцев. Использование периферической крови и спинномозговой жидкости для определения биомаркеров имеет явные преимущества при мониторинге многих заболеваний, включая РС. Сывороточными биомаркерами можно охарактеризовать иммунологические процессы на периферии, но когда речь идет о процессах в ЦНС, прогностическая ценность показателей снижается. Определяемые показатели в СМЖ связаны с местом поражения, что повышает значимость и специфичность исследования.

В настоящее время к биомаркерам терапевтической эффективности относят нейтрализующие Ат к препаратам, модифицирующим течение заболевания. Около 60 % пациентов отвечают на терапию IFN- β , у большинства из них спустя 4–6 мес. после начала лечения появляются нейтрализующие Ат, что впоследствии приводит к потере терапевтической эффективности. Ат к натализумабу появляются через 6 месяцев после начала терапии.

Наиболее признанным/одобренным в настоящее время лечением РС является окрелизумаб (ocrelizumab), селективно связывающий CD20 на В-клетках. Однако лечение данным моноклональным Ат не оказывает влияния на уровень специфических Ат в СМЖ, и это дает основание полагать, что важная функция В-лимфоцитов не связана с продукцией иммуноглобулинов/Ат [20]. Показано, что В-клетки продуцируют различные цитокины в зависимости от способа активации. В сравнении со здоровыми донорами, В-клетки пациентов с РС продуцируют повышенное количество провоспалительных цитокинов и сниженный уровень противовоспалительных цитокинов, которые регулируют функцию Т-лимфоцитов и аутоиммунитет [21]. Показано, что у пациентов с РС увеличено количество В-клеток, продуцирующих GM-CSF (macrophage-colony stimulating factor) – цитокин, который индуцирует миелоидные клетки к продукции провоспалительных цитокинов. С точки зрения перспективы биомаркеров, это означает, что измерение про- и противовоспалительных цитокинов может позволить внести ясность в функциональный иммунный профиль конкретного пациента.

Гистопатологические исследования показали, что иммунные клетки аккумулируются в оболочках головного мозга. Существуют доказательства повреждения иммунными клетками нейронов и активации микроглии. Такая активация микроглии дает основание полагать, что секретирующие факторы, выделяемые менингеальными иммунными клетками, вовлекаются в нейрональное повреждение [22], что позволяет рассматривать данный фактор как биомаркер.

Фетуин-А (alfa-2-HS-glicoprotein) также относят к биомаркеру активности процесса при РС. Изменение уровня данного секретируемого гликопротеина, первоначально найденного с применением метода протеомной технологии в СМЖ у пациентов с РС и здоровых доноров, коррелирует с ранней конверсией рецидивно-ремиттирующей формы РС, а повышение – с активностью заболевания [23].

Кроме того, идентифицированы биомаркеры оксидативного стресса (isoprostane 8-iso-prostaglandin F2a (8-iso-PGF2a)) вследствие перекисного окисления арахидоновой кислоты и мембранных фосфолипидов; маркеры вовлечения В-клеток в патогенез ЦНС (CXCL13 – потенциальный хемоаттрактант для В-лимфоцитов [24; 25]; маркеры аксонального повреждения (нейрофиламенты – основной компонент аксонального цитоскелета, представленные как гетерополимеры низкой (NFL), средней (NFM) и высокой (NFH) мм субъединицы [26]; прогностические биомаркеры – хитиназа 3-подобный 1 (CHI3L1) изо-хитин-связывающий протеин, который теряет ферментативную активность при хроническом процессе и тканевом повреждении [27].

На сегодняшний день значимую патогенетическую роль при РС играют инфламмасы. Инфламмасы (inflammasomes) представляют собой большой макромолекулярный комплекс, который включает множество копий рецептора молекулярных паттернов патогена или повреждения и приводит к запуску воспалительной реакции. Показано, что инфламмасы модулируют нейровоспалительные клетки и начальные этапы нейровоспаления [28]. Ключевой активатор воспалительных заболеваний известен как NLRP3-инфламмазома. NLRP3 или криопирин (cryopyrin) – цитозольный белок, NOD-подобный рецептор семейства NALP, вовлечен в активацию каспаз 1 и 5, что приводит к внутриклеточному процессингу и образованию зрелой активной формы ИЛ-1 β и ИЛ-18. NLR – нуклеотидная последовательность, связывающая лейцин, известная также как NOD-подобная, представляет собой класс цитозольных рецепторов, реагирующих на разнообразные PAMPs (pathogen-associated molecular patterns), которые принадлежат микроорганизмам, и на DAMPs (damage-associated molecular patterns), появляющимся при тканевом повреждении. Наиболее интенсивно изучаемый класс NLRs – инфламмасом-формирующие NLRs. При распознавании DAMPs и PAMPs эти NLRs, включающие NLRP1, NLRP3, NLRC4, NLRC5, NLRP6, NLRP7 и NLRP12, медируют высвобождение провоспалительных цитокинов ИЛ-1 β и ИЛ-18.

Гиперактивация ИЛ-1 β и ИЛ-18 инфламмасом-формирующим белковым комплексом вовлекается в патогенез РС. ИЛ-1 β и ИЛ-18 побуждают дифференцировку наивных CD4⁺Т-клеток в Th17 и Th1, которые приводят к демиелинизации и гибели нейронов при РС. Клинические исследования свидетельствуют о наличии ассоциации повышенной экспрессии каспазы-1, ИЛ-1 β и ИЛ-18 с восприимчивостью, прогрессией и тяжестью течения РС [29; 30].

ИЛ-1 β и ИЛ-18 – цитокины врожденного иммунитета являются критическими в пролиферации нейро-иммунореактивных клеток нервной ткани микроглии и астроцитов, которые реагируют немедленно на нейрональное повреждение и гибель. ИЛ-18, первоначально охарактеризованный как ИФН- γ индуцирующий фактор, действует синергично с ИЛ-12, обеспечивая дифференцировку наивных CD4⁺Т-клеток в Th1 лимфоциты [31].

На экспериментальной модели показано, что присутствие таких протеинов, как ASC (apoptosis-associated speck-like protein containing a caspase recruitment domain), каспаза-1, ИЛ-1 β и ИЛ-18, ассоциированных с инфламмасомами, может приводить к обострениям в патогенезе РС [32]. В последнее время доказано, что NLRP3 способствует развитию РС, ускоряя демиелинизацию на экспериментальной модели, вызванной купризоном, и индуцируя миграцию Т-лимфоцитов в ЦНС [33; 34].

У пациентов с рецидивно-ремиттирующей формой РС при сравнении со здоровыми донорами определены чувствительные и специфичные протеины инфламмасом в качестве биомаркеров. Показано, что caspase-1, ASC and IL-18 увеличены в сыворотке крови пациентов и рассматриваются в качестве потенциальных биомаркеров начала РС [35]. Caspase-1 и IL-1 β присутствуют в бляшках, эти протеины также увеличены в сыворотке крови. В дополнение, NOD-подобный рецептор протеина-3 (NLRP3) играет роль в развитии экспериментального аутоиммунного энцефаломиелита (ЭАЭ) у мышей (у NLRP3 дефектных мышей не развивался ЭАЭ) [36].

Основываясь на прочных доказательствах, предлагаемые биомаркеры при РС подразделяются на поисковые или потенциальные биомаркеры, валидизированные биомаркеры и клинически применимые, к которым относятся воспалительные биомаркеры, такие как IL-1, TNF- α и остеоопонтин [14; 37; 38]. Остеопонтин – внеклеточный матриксный протеин, вовлеченный в различные физиологические и патологические процессы (ремоделирование костной ткани, заживление ран, биология опухоли, заболевания сосудов и воспалительные заболевания [39; 40]. Остеопонтин широко экспрессируется в иммунных клетках (Т-клетки, ДК, макрофаги и НК) и вовлекается в воспалительные реакции, усиливая продукцию IL-12, IL17, IFN- γ и ингибируя IL-10 [41]. Усиление экспрессии гена остеоопонтина обнаружено

в головном мозге пациентов с РС [42]. Показано, что и у человека и животных уровень остеопонтина в сыворотке и СМЖ связан с прогрессированием заболевания и повторяющимися обострениями.

В качестве биологических маркеров, характеризующих процессы ремиелинизации и эндогенного олигодендрогенеза, рассматриваются различные ростовые и невральные факторы. В настоящее время широко обсуждается ремиелинизирующая роль иммуноглобулинов и тромбоцитарного ростового фактора (PDGF – Platelet-derived growth factor) [43]. PDGF входит в число многочисленных ростовых факторов, регулирующих миграцию, пролиферацию, дифференцировку и выживание клеток-предшественников олигодендроцитов (OPCs – Oligodendrocyte progenitor cells) [44; 45]. Mathisen с соавт. (1999) продемонстрировали, что у иммунизированных мышей линии SWXJ аутореактивные Т-хелперы (CD4⁺)2-го типа с антиген-индуцибельным трансгеном PDGF-А способны продуцировать биологически активный PDGF. После системного введения клетки мигрировали в ЦНС, что приводило к улучшению состояния мышей с ЭАЭ [46].

Механизм иммуноглобулин-опосредованной ремиелинизации до конца не установлен. Известно, что выраженной способностью активировать синтез миелина обладают иммуноглобулины класса М (IgM). Существуют две гипотезы механизма их действия:

- 1) антитела способны распознавать OPCs и инициировать синтез нового миелина;
- 2) антитела активируют в ЦНС иммунные клетки, отличные от олигодендроцитарной линии, которые в свою очередь стимулируют OPCs (или сами олигодендроциты) за счет секреции стимулирующих ремиелинизацию факторов [43; 47]. Watzlawik с соавт. (2013) показали, что рекомбинантный человеческий IgM (rHIgM22) связывает миелин и олигодендроциты и способствует ремиелинизации при экспериментальной модели РС. При этом ремиелинизирующий эффект (антиапоптотическое действие на олигодендроциты) rHIgM22 зависел от присутствия PDGF, экспрессия рецепторов которого (PDGF α R) на олигодендроцитах также медируется IgM [48].

Заключение

За последние десятилетия терапевтические подходы к лечению РС кардинально изменились. Ранее активно разрабатывалось направление иммуносупрессивной терапии, однако впоследствии было установлено, что, наряду с пассивной элиминацией аутореактивных клонов лимфоцитов, удаляются и необходимые регуляторные клетки. В связи с этим в настоящее время основной терапевтической целью является разработка методов лечения, основанных на индукции толерантности и активации собственных иммунорегуляторных механизмов.

Выбор метода лечения, который будет наилучшим способом подходить конкретному пациенту, остается открытой проблемой. Биомаркеры, предоставляющие возможность охарактеризовать значимые особенности конкретного пациента, позволят клиницистам выбрать наиболее подходящее лечение (эффективность и безопасность) и осуществлять мониторинг ответа на лечение. Внедрение в клиническую практику молекулярных биомаркеров при РС относится к трансляционной медицине и является основой персонифицированной терапии.

Библиографические ссылки

1. Hafler D., Slavik J., Anderson D., et al. Multiple sclerosis // *Immunol. Rev.* 2005. Vol. 204. P. 208–231. DOI: 10.1111/j.0105-2896.2005.00240.x.
2. Sospedra M., Martin R. Immunology of multiple sclerosis // *Semin. Neurol.* 2016. Vol. 32, № 2. P. 115–127. DOI: 10.1055/s-0036-1579739.
3. Hohlfeld R., Dornmair K., Meinl E., et al. The search for the target antigens of multiple sclerosis, part 1: autoreactive CD4⁺ T lymphocytes as pathogenic effectors and therapeutic targets // *Lancet Neurol.* 2016. Vol. 15, № 2. P. 198–209. DOI: 10.1016/S1474-4422(15)00313-0.
4. Hohlfeld R., Dornmair K., Meinl E., et al. The search for the target antigens of multiple sclerosis, part 2: CD8⁺ T cells, B cells, and antibodies in the focus of reverse-translational research // *Lancet Neurol.* 2016. Vol. 15, № 3. P. 317–331. DOI: 10.1016/S1474-4422(15)00313-0.
5. Sobottka B., Harrer M. D., Ziegler U., et al. Collateral bystander damage by myelin-directed CD8 T cells causes axonal loss // *Am. J. Pathol.* 2009. Vol. 175, № 3. P. 1160–1166. DOI: 10.2353/ajpath.2009.090340.
6. Mohammad M. G., Tsai V. W., Ruitenberg M. J., et al. Immune cell trafficking from the brain maintains CNS immune tolerance // *J. Clin. Invest.* 2014. Vol. 124, № 3. P. 1228–1241. DOI: 10.1172/JCI71544.
7. Ortiz G. G., Pacheco-Moisés F. P., Bitzer-Quintero O. K., et al. Immunology and oxidative stress in multiple sclerosis: clinical and basic approach [Electronic resource] // *Clin. Dev. Immunol.* 2013. Vol. 2013. DOI: 10.1155/2013/708659.
8. Goverman J. Autoimmune T cell responses in the central nervous system // *J. Nat. Rev. Immunol.* 2009. Vol. 9, № 6. P. 393–407. DOI: 10.1038/nri2550.
9. Bielekova B., Martin R. Development of biomarkers in multiple sclerosis // *Brain.* 2004. Vol. 127, part 7. P. 1463–1478. DOI: 10.1093/brain/awh176.
10. Galetta M., Calabresi P., Frohman E., et al. Optical Coherence Tomography (OCT): Imaging the Visual Pathway as a Model for Neurodegeneration // *Neurotherapeutics.* 2011. Vol. 8, № 1. P. 117–132. DOI: 10.1007/s13311-010-0005-1.

11. Harris V. K., Sadiq S. A. Biomarkers of Therapeutic Response in Multiple Sclerosis: Current Status // *Mol. Diagn. Ther.* 2014. Vol. 18, № 6. P. 605–617. DOI: 10.1007/s40291-014-0117-0.
12. Bornsen L., Khademi M., Olsson T., et al. Osteopontin concentrations are increased in cerebrospinal fluid during attacks of multiple sclerosis // *Mult. Scler.* 2011. Vol. 17, № 1. P. 32–42. DOI: 10.1177/1352458510382247.
13. Khademi M., Bornsen L., Rafatnia F., et al. The effects of natalizumab on inflammatory mediators in multiple sclerosis: prospects for treatment-sensitive biomarkers // *Eur. J. Neurol.* 2009. Vol. 16, № 4. P. 528–536. DOI: 10.1111/j.1468-1331.2009.02532.x.
14. Agah E., Zardoui A., Saghazadeh A., et al. Osteopontin (OPN) as a CFS and blood biomarker for multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, issue 1. DOI: org/10.1371/journal.pone.0190252.
15. Sellebjerg F., Bornsen L., Khademi M., et al. Increased cerebrospinal fluid concentrations of the chemokine CXCL13 in active MS // *Neurology*. 2009. Vol. 73, № 23. P. 2003–2010. DOI: 10.1212/WNL.0b013e3181c5b457.
16. Christensen R. J., Ratzer R., Bornsen L., et al. Natalizumab in progressive MS: Results of an open-label, phase 2A, proof-of-concept trial // *Neurology*. 2014. Vol. 82, № 17. P. 1499–1507. DOI: 10.1212/WNL.0000000000000361.
17. Novakova L., Axelsson M., Malmerstrom C., et al. Searching for neurodegeneration in multiple sclerosis at clinical onset: Diagnostic value of biomarkers // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, issue 4. DOI: org/10.1371/journal.pone.0194828.
18. Muller A. M., Jun E., Conlon H., et al. Cerebrospinal hepatocyte growth factor levels correlate negatively with disease activity in multiple sclerosis // *J. Neuroimmunol.* 2012. Vol. 251, № 1/2. P. 80–86. DOI: 10.1016/j.jneuroim.2012.06.008.
19. Harris V. K., Sadiq S. A. Disease biomarkers in multiple sclerosis: potential for use in therapeutic decision making // *Mol. Diagn. Ther.* 2009. Vol. 13, № 4. P. 225–244. DOI: 10.2165/11313470-000000000-00000.
20. Hauser S. L., Bar-Or A., Comi G., et al. Ocrelizumab versus Interferon Beta-1a in Relapsing Multiple Sclerosis // *N. Engl. J. Med.* 2017. Vol. 376, № 3. P. 221–234. DOI: 10.1056/NEJMoa1601277.
21. Bar-Or A., Fawaz L., Fan B., et al. Abnormal B-cell cytokine responses a trigger of T-cell-mediated disease in MS? // *Ann. Neurol.* 2010. Vol. 67, № 4. P. 452–461. DOI: 10.1002/ana.21939.
22. Magliozzi R., Howell O. W., Reeves C., et al. A Gradient of neuronal loss and meningeal inflammation in multiple sclerosis // *Ann. Neurol.* 2010. Vol. 68, № 4. P. 477–493. DOI: 10.1002/ana.22230.
23. Harris V. K., Donelan N., Yan Q. J., et al. Cerebrospinal fluid fetuin-A is a biomarker of active multiple sclerosis // *Mult. Scler.* 2013. Vol. 19, № 11. P. 1462–1472. DOI: 10.1177/1352458513477923.
24. Khademi M., Kockum I., Andersson M. L., et al. Cerebrospinal fluid CXCL13 in multiple sclerosis: a suggestive prognostic marker for the disease course // *Mult. Scler.* 2011. Vol. 17, № 3. P. 335–343. DOI: 10.1177/1352458510389102.
25. Alvarez E., Piccio L., Mikessel R. J., et al. CXCL13 is a biomarker of inflammation in multiple sclerosis, neuromyelitis optica, and other neurological conditions // *Mult. Scler.* 2013. Vol. 19, № 9. P. 1204–1208. DOI: 10.1177/1352458512473362.
26. Petzold A. Neurofilament phosphoforms: surrogate markers for axonal injury, degeneration and loss // *J. Neurol. Sci.* 2005. Vol. 233, № 1/2. P. 183–198. DOI: 10.1016/j.jns.2005.03.015.
27. Lee C. G., Da Silva C. A., Dela Cruz C. S., et al. Role of chitin and chitinase/chitinase-like proteins in inflammation, tissue remodeling, and injury // *Annu. Rev. Physiol.* 2011. Vol. 73. P. 479–501. DOI: 10.1146/annurev-physiol-012110-142250.
28. Freeman L. C., Ting J. P. The pathogenic role of the inflammasome in neurodegenerative diseases // *J. Neurochem.* 2016. Vol. 136, issue 1. P. 29–38. DOI: 10.1111/jnc.13217.
29. Losy J., Niezgoda A. IL-18 in patients with multiple sclerosis // *Acta Neurol. Scand.* 2001. Vol. 104, № 3. P. 171–173.
30. Mann C. L., Davies M. B., Stevenson V. L. Interleukin 1 genotypes in multiple sclerosis and relationship to disease severity // *J. Neuroimmunol.* 2002. Vol. 129, № 1/2. P. 197–204.
31. Shaw P. J., McDermott M. F., Kanneganti N. D. Inflammasomes and autoimmunity // *Trends Mol. Med.* 2011. Vol. 17, № 2. P. 57–64. DOI: 10.1016/j.molmed.2010.11.001.
32. Laver S. J., Dungan L. S., Sutton C. E., et al. Caspase-1-processed cytokines IL-1 β and IL-18 promote IL-17 production by gamma delta and CD4 T cells that mediate autoimmunity // *J. Immunol.* 2011. Vol. 186, № 10. P. 5738–5748. DOI: 10.4049/jimmunol.1003597.
33. Inoue M., Williams K. L., Gunn M. D., et al. NLRP3 inflammasome induces chemotactic immune cell migration to the CNS in experimental autoimmune encephalomyelitis // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2012. Vol. 109, № 26. P. 10480–10485. DOI: 10.1073/pnas.1201836109.
34. Gris D., Ye Z., Iocca H. A., et al. NLRP3 plays a critical role in the development of experimental autoimmune encephalomyelitis by mediating Th1 and Th17 responses // *J. Immunol.* 2010. Vol. 185, № 2. P. 974–981. DOI: 10.4049/jimmunol.0904145.
35. Keane R. W., Dietrich W. D., Rivero Vaccari J. P. Inflammasome Proteins As Biomarkers of Multiple Sclerosis // *Front. Neurol.* 2018. Vol. 9:135. DOI: 10.3389/fneur.2018.00135.
36. Inoue M., Williams K. L., Gunn M. D., et al. NLRP3 inflammasome induces chemotactic immune cell migration to the CNS in experimental autoimmune encephalomyelitis // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2012. Vol. 109. P. 10480–10485. DOI: 10.1073/pnas.1201836109.
37. Comabella M., Montalban X. Body fluid biomarkers in multiple sclerosis // *Lancet Neurol.* 2014. Vol. 13, № 1. P. 113–126. DOI: org/10.1016/S1474-4422(13)70233-3.
38. Housley W. J., Pitt D., Hafler D. A. Biomarkers in multiple sclerosis // *Clin. Immunol. (Orlando, Fla.)*. 2015. Vol. 161, № 1. P. 51–58. DOI: org/10.1016/j.clim.2015.06.015.
39. Bandopadhyay M., Bulbule A., Butti R., et al. Osteopontin as a therapeutic target for cancer // *Exp. Opin. Ther. Targets*. 2014. Vol. 18, № 8. P. 883–895. DOI: 10.1517/14728222.2014.925447.
40. Lund S. A., Giachelli C. M., Scatena M. The role of osteopontin in inflammatory processes // *J. Cell. Comm. Signaling*. 2009. Vol. 3, № 3–4. P. 311–322. DOI: 10.1517/14728222.2014.925447.
41. Rittling S. R., Singh R. Osteopontin in Immune-mediated Diseases // *J. Dent. Res.* 2015. Vol. 94, № 12. P. 1638–1645. DOI: org/10.1177/0022034515605270.
42. Chabas D., Baranzini S. E., Mitchell D., et al. The influence of the proinflammatory cytokine, osteopontin, on autoimmune demyelinating disease // *Science*. 2001. Vol. 294, № 5547. P. 1731–1735. DOI: org/10.1126/science.1062960.
43. Watzlawik J., Warrington A., Rodriguez M. PDGF is required for remyelination-promoting IgM stimulation of oligodendrocyte progenitor cell proliferation [Electronic resource] // *PLoS One*. 2013. Vol. 8, № 2, doi: org/10.1371/journal.pone.0055149.

44. Allamargot C., Pouplard-Barthelais A., Fressinaud C. A single intracerebral microinjection of platelet-derived growth factor (PDGF) accelerates the rate of remyelination in vivo // *Brain Res.* 2001. Vol. 918, № 1/2. P. 28–39.
45. Vana A. C., Flint N. C., Harwood N. E., et al. Platelet-derived growth factor promotes repair of chronically demyelinated white matter // *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 2007. Vol. 66, № 11. P. 975–988. DOI: 10.1097/NEN.0b013e3181587d46.
46. Mathisen P. M., Yu M., Yin L., et al. Th2 T cells expressing transgene PDGF-A serve as vectors for gene therapy in autoimmune demyelinating disease // *J. Autoimmun.* 1999. Vol. 13, № 1. P. 31–38. DOI: 10.1006/jaut.1999.0287.
47. Linington C., Lassmann H. Antibody responses in chronic relapsing experimental allergic encephalomyelitis: correlation of serum demyelinating activity with antibody titre to the myelin/oligodendrocyte glycoprotein (MOG) // *J. Neuroimmunol.* 1987. Vol. 17, № 1. P. 61–69.
48. Watzlawik J. O., Wootla B., Painter M. M., et al. Cellular targets and mechanistic strategies of remyelination-promoting IgMs as part of the naturally occurring autoantibody repertoire // *Expert Rev. Neurother.* 2013. Vol. 13, № 9. P. 1017–1029. DOI: 10.1586/14737175.2013.835601.

References

1. Hafler D., Slavik J., Anderson D., et al. Multiple sclerosis. *Immunol. Rev.* 2005. Vol. 204. P. 208–231. DOI: 10.1111/j.0105-2896.2005.00240.x.
2. Sospedra M., Martin R. Immunology of multiple sclerosis. *Semin. Neurol.* 2016. Vol. 32, No. 2. P. 115–127. DOI: 10.1055/s-0036-1579739.
3. Hohlfeld R., Dornmair K., Meinl E., et al. The search for the target antigens of multiple sclerosis, part 1: autoreactive CD4+ T lymphocytes as pathogenic effectors and therapeutic targets. *Lancet Neurol.* 2016. Vol. 15, No 2. P. 198–209. DOI: 10.1016/S1474-4422(15)00313-0.
4. Hohlfeld R., Dornmair K., Meinl E., et al. The search for the target antigens of multiple sclerosis, part 2: CD8+ T cells, B cells, and antibodies in the focus of reverse-translational research. *Lancet Neurol.* 2016. Vol. 15, No 3. P. 317–331. DOI: 10.1016/S1474-4422(15)00313-0.
5. Sobottka B., Harrer M. D., Ziegler U., et al. Collateral bystander damage by myelin-directed CD8 T cells causes axonal loss. *Am. J. Pathol.* 2009. Vol. 175, No 3. P. 1160–1166. DOI: 10.2353/ajpath.2009.090340.
6. Mohammad M. G., Tsai V. W., Ruitenberg M. J., et al. Immune cell trafficking from the brain maintains CNS immune tolerance. *J. Clin. Invest.* 2014. Vol. 124, No 3. P. 1228–1241. DOI: 10.1172/JCI71544.
7. Ortiz G. G., Pacheco-Moisés F. P., Bitzer-Quintero O. K., et al. Immunology and oxidative stress in multiple sclerosis: clinical and basic approach [Electronic resource]. *Clin. Dev. Immunol.* 2013. Vol. 2013. DOI: 10.1155/2013/708659.
8. Goverman J. Autoimmune T cell responses in the central nervous system. *J. Nat. Rev. Immunol.* 2009. Vol. 9, No 6. P. 393–407. DOI: 10.1038/nri2550.
9. Bielekova B., Martin R. Development of biomarkers in multiple sclerosis. *Brain.* 2004. Vol. 127, part 7. P. 1463–1478. DOI: 10.1093/brain/awh176.
10. Galetta M., Calabresi P., Frohman E., et al. Optical Coherence Tomography (OCT): Imaging the Visual Pathway as a Model for Neurodegeneration. *Neurotherapeutics.* 2011. Vol. 8, No 1. P. 117–132. DOI: 10.1007/s13311-010-0005-1.
11. Harris V. K., Sadiq S. A. Biomarkers of Therapeutic Response in Multiple Sclerosis: Current Status. *Mol. Diagn. Ther.* 2014. Vol. 18, No 6. P. 605–617. DOI: 10.1007/s40291-014-0117-0.
12. Bornsen L., Khademi M., Olsson T., et al. Osteopontin concentrations are increased in cerebrospinal fluid during attacks of multiple sclerosis. *Mult. Scler.* 2011. Vol. 17, No 1. P. 32–42. DOI: 10.1177/1352458510382247.
13. Khademi M., Bornsen L., Rafatnia F., et al. The effects of natalizumab on inflammatory mediators in multiple sclerosis: prospects for treatment-sensitive biomarkers. *Eur. J. Neurol.* 2009. Vol. 16, No 4. P. 528–536. DOI: 10.1111/j.1468-1331.2009.02532.x.
14. Agah E., Zardoui A., Saghaadeh A., et al. Osteopontin (OPN) as a CFS and blood biomarker for multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE.* 2018. Vol. 13, issue 1. DOI: org/10.1371/journal.pone.0190252.
15. Sellebjerg F., Bornsen L., Khademi M., et al. Increased cerebrospinal fluid concentrations of the chemokine CXCL13 in active MS. *Neurology.* 2009. Vol. 73, No 23. P. 2003–2010. DOI: 10.1212/WNL.0b013e3181c5b457.
16. Christensen R. J., Ratzer R., Bornsen L., et al. Natalizumab in progressive MS: Results of an open-label, phase 2A, proof-of-concept trial. *Neurology.* 2014. Vol. 82, No 17. P. 1499–1507. DOI: 10.1212/WNL.0000000000000361.
17. Novakova L., Axelsson M., Malmerstrom C., et al. Searching for neurodegeneration in multiple sclerosis at clinical onset: Diagnostic value of biomarkers // *PLoS ONE.* 2018. Vol. 13, issue 4. DOI: org/10.1371/journal.pone.0194828.
18. Muller A. M., Jun E., Conlon H., et al. Cerebrospinal hepatocyte growth factor levels correlate negatively with disease activity in multiple sclerosis. *J. Neuroimmunol.* 2012. Vol. 251, No 1/2. P. 80–86. DOI: 10.1016/j.jneuroim.2012.06.008.
19. Harris V. K., Sadiq S. A. Disease biomarkers in multiple sclerosis: potential for use in therapeutic decision making. *Mol. Diagn. Ther.* 2009. Vol. 13, No 4. P. 225–244. DOI: 10.2165/11313470-000000000-00000.
20. Hauser S. L., Bar-Or A., Comi G., et al. Ocrelizumab versus Interferon Beta-1a in Relapsing Multiple Sclerosis. *N. Engl. J. Med.* 2017. Vol. 376, No 3. P. 221–234. DOI: 10.1056/NEJMoa1601277.
21. Bar-Or A., Fawaz L., Fan B., et al. Abnormal B-cell cytokine responses a trigger of T-cell-mediated disease in MS? *Ann. Neurol.* 2010. Vol. 67, No 4. P. 452–461. DOI: 10.1002/ana.21939.
22. Magliozzi R., Howell O. W., Reeves C., et al. A Gradient of neuronal loss and meningeal inflammation in multiple sclerosis. *Ann. Neurol.* 2010. Vol. 68, No 4. P. 477–493. DOI: 10.1002/ana.22230.
23. Harris V. K., Donelan N., Yan Q. J., et al. Cerebrospinal fluid fetuin-A is a biomarker of active multiple sclerosis. *Mult. Scler.* 2013. Vol. 19, No 11. P. 1462–1472. DOI: 10.1177/1352458513477923.
24. Khademi M., Kockum I., Andersson M. L., et al. Cerebrospinal fluid CXCL13 in multiple sclerosis: a suggestive prognostic marker for the disease course. *Mult. Scler.* 2011. Vol. 17, No 3. P. 335–343. DOI: 10.1177/1352458510389102.
25. Alvarez E., Piccio L., Mikessel R. J., et al. CXCL13 is a biomarker of inflammation in multiple sclerosis, neuromyelitis optica, and other neurological conditions. *Mult. Scler.* 2013. Vol. 19, No 9. P. 1204–1208. DOI: 10.1177/1352458512473362.

26. Petzold A. Neurofilament phosphoforms: surrogate markers for axonal injury, degeneration and loss. *J. Neurol. Sci.* 2005. Vol. 233, No 1/2. P. 183–198. DOI: 10.1016/j.jns.2005.03.015.
27. Lee C. G., Da Silva C. A., Dela Cruz C. S., et al. Role of chitin and chitinase/chitinase-like proteins in inflammation, tissue remodeling, and injury. *Annu. Rev. Physiol.* 2011. Vol. 73. P. 479–501. DOI: 10.1146/annurev-physiol-012110-142250.
28. Freeman L. C., Ting J. P. The pathogenic role of the inflammasome in neurodegenerative diseases. *J. Neurochem.* 2016. Vol. 136, issue 1. P. 29–38. DOI: 10.1111/jnc.13217.
29. Losy J., Niezgoda A. IL-18 in patients with multiple sclerosis. *Acta Neurol. Scand.* 2001. Vol. 104, No 3. P. 171–173.
30. Mann C. L., Davies M. B., Stevenson V. L. Interleukin 1 genotypes in multiple sclerosis and relationship to disease severity. *J. Neuroimmunol.* 2002. Vol. 129, No 1/2. P. 197–204.
31. Shaw P. J., McDermott M. F., Kanneganti N. D. Inflammasomes and autoimmunity. *Trends Mol. Med.* 2011. Vol. 17, No 2. P. 57–64. DOI: 10.1016/j.molmed.2010.11.001.
32. Laver S. J., Dungan L. S., Sutton C. E., et al. Caspase-1-processed cytokines IL-1 β and IL-18 promote IL-17 production by gamma delta and CD4 T cells that mediate autoimmunity. *J. Immunol.* 2011. Vol. 186, No 10. P. 5738–5748. DOI: 10.4049/jimmunol.1003597.
33. Inoue M., Williams K.L., Gunn M.D., et al. NLRP3 inflammasome induces chemotactic immune cell migration to the CNS in experimental autoimmune encephalomyelitis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2012. Vol. 109, No 26. P. 10480–10485. DOI: 10.1073/pnas.1201836109.
34. Gris D., Ye Z., Iocca H. A., et al. NLRP3 plays a critical role in the development of experimental autoimmune encephalomyelitis by mediating Th1 and Th17 responses. *J. Immunol.* 2010. Vol. 185, No 2. P. 974–981. DOI: 10.4049/jimmunol.0904145.
35. Keane R. W., Dietrich W. D., Rivero Vaccari J. P. Inflammasome Proteins As Biomarkers of Multiple Sclerosis. *Front. Neurol.* 2018. Vol. 9:135. DOI: 10.3389/fneur.2018.00135.
36. Inoue M., Williams K. L., Gunn M.D., et al. NLRP3 inflammasome induces chemotactic immune cell migration to the CNS in experimental autoimmune encephalomyelitis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2012. Vol. 109. P. 10480–10485. DOI:10.1073/pnas.1201836109.
37. Comabella M., Montalban X. Body fluid biomarkers in multiple sclerosis. *Lancet Neurol.* 2014. Vol. 13, No 1. P. 113–126. DOI: org/10.1016/S1474-4422(13)70233-3.
38. Housley W. J., Pitt D., Hafler D. A. Biomarkers in multiple sclerosis. *Clin. Immunol.* (Orlando, Fla). 2015. Vol. 161, No 1. P. 51–58. DOI: org/10.1016/j.clim.2015.06.015.
39. Bandopadhyay M., Bulbule A., Butti R., et al. Osteopontin as a therapeutic target for cancer. *Exp. Opin. Ther. Targets.* 2014. Vol. 18, No 8. P. 883–895. DOI: 10.1517/14728222.2014.925447.
40. Lund S. A., Giachelli C. M., Scatena M. The role of osteopontin in inflammatory processes. *J. Cell. Comm. Signaling.* 2009. Vol. 3, No 3–4. P. 311–322. DOI: 10.1517/14728222.2014.925447.
41. Rittling S. R., Singh R. Osteopontin in Immune-mediated Diseases. *J. Dent. Res.* 2015. Vol. 94, No 12. P. 1638–1645. DOI: org/10.1177/0022034515605270.
42. Chabas D., Baranzini S. E., Mitchell D., et al. The influence of the proinflammatory cytokine, osteopontin, on autoimmune demyelinating disease. *Science.* 2001. Vol. 294, No 5547. P. 1731–1735. DOI: org/10.1126/science.1062960.
43. Watzlawik J., Warrington A., Rodriguez M. PDGF is required for remyelination-promoting IgM stimulation of oligodendrocyte progenitor cell proliferation [Electronic resource]. *PLoS One.* 2013. Vol. 8, No 2, doi: org/10.1371/journal.pone.0055149.
44. Allamargot C., Pouplard-Barthelaix A., Fressinaud C. A single intracerebral microinjection of platelet-derived growth factor (PDGF) accelerates the rate of remyelination in vivo. *Brain Res.* 2001. Vol. 918, No 1/2. P. 28–39.
45. Vana A. C., Flint N. C., Harwood N. E., et al. Platelet-derived growth factor promotes repair of chronically demyelinated white matter. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 2007. Vol. 66, No 11. P. 975–988. DOI: 10.1097/NEN.0b013e3181587d46.
46. Mathisen P. M., Yu M., Yin L., et al. Th2 T cells expressing transgene PDGF-A serve as vectors for gene therapy in autoimmune demyelinating disease. *J. Autoimmun.* 1999. Vol. 13, No 1. P. 31–38. DOI: 10.1006/jaut.1999.0287.
47. Linington C., Lassmann H. Antibody responses in chronic relapsing experimental allergic encephalomyelitis: correlation of serum demyelinating activity with antibody titre to the myelin/oligodendrocyte glycoprotein (MOG). *J. Neuroimmunol.* 1987. Vol. 17, No 1. P. 61–69.
48. Watzlawik J. O., Wootla B., Painter M. M., et al. Cellular targets and mechanistic strategies of remyelination-promoting IgMs as part of the naturally occurring autoantibody repertoire. *Expert Rev. Neurother.* 2013. Vol. 13, No 9. P. 1017–1029. DOI: 10.1586/14737175.2013.835601.

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 504.062(476)

ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОСНЫ ДЛЯ НАРАСТАНИЯ СТВОЛОВОЙ МАССЫ НА АВТОМОРФНЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Е. В. МАТЮШЕВСКАЯ¹⁾, В. Н. КИСЕЛЕВ²⁾, А. Е. ЯРОТОВ¹⁾, П. А. МИТРАХОВИЧ¹⁾

*¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь*

*²⁾Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка,
ул. Советская, 18, 220050, г. Минск, Беларусь*

Образец цитирования:

Матюшевская Е. В., Киселев В. Н., Яротов А. Е., Митрахович П. А. Продукционный потенциал сосны для нарастания стволовой массы на автоморфных песчаных почвах Белорусского Полесья // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 65–75.

For citation:

Matiushevskaya E. V., Kisieliou V. N., Jarotou A. E., Mitrakhovich P. A. Pine production potential for stemple mass growth on automorphic sandy soils of Belarusian Polesje. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 65–75 (in Russ.).

Авторы:

Екатерина Викторовна Матюшевская – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии.

Виктор Никифорович Киселев – доктор географических наук, профессор; научный руководитель ВНК «Дендрозкология».

Алексей Евгеньевич Яротов – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий.

Петр Анисимович Митрахович – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий.

Authors:

Ekaterina V. Matiushevskaya, PhD (geography), docent; associate professor at the department of general geography and hidrometeorology.

katerina.vn@icloud.com

Viktor N. Kisieliou, doctor of science (geography), full professor; PI of the temporary scientific group «Dendroecogy».

kiselev-vn@yandex.ru

Alexei E. Jarotou, PhD (geography), docent; associate professor at the department of physical geography of the world and educational technologies.

dehrono@mail.ru

Peter A. Mitrakhovich, PhD (geography), docent; associate professor at the department of physical geography of the world and educational technologies.

Mitrakhovichpa@mail.ru

Определен ресурсный потенциал сосны для нарастания стволовой массы на автоморфной кварцевопесчаной почве Белорусского Полесья, который проявился до потепления климата и увеличения притока прямой солнечной радиации после 1998 г. Понижение грунтовых вод, сопровождавшее осушительную мелиорацию, в изменившихся погодно-климатических условиях во второй половине 90-х годов обострило лимитирующее значение естественных экологических факторов (солнечной радиации, температуры и осадков) и повлияло на состояние и продукционный потенциал сосны. Это вызвало массовое усыхание древостоя в искусственно созданных лесостепях на землях, оказавшихся не пригодными для сельскохозяйственного использования.

Ключевые слова: Белорусское Полесье; сосна; мелиорация; радиальный прирост; солнечная радиация; климат.

PINE PRODUCTION POTENTIAL FOR STEM MASS GROWTH ON AUTOMORPHIC SANDY SOILS OF BELARUSIAN POLESJE

E. V. MATIUSHEVSKAYA^a, V. N. KISIELIOU^b, A. E. JAROTOU^a, P. A. MITRAKHOVICH^a

*^aBelarusian State University,
4 Neyzaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*

*^bBelarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank,
18 Savieckaja Street, Minsk 220050, Belarus*

Corresponding author: V. N. Kisieliou (kiselev-vn@yandex.ru)

The results of the study of the current state and production potential of pine for the growth of stem mass in changing climatic conditions in the Belarusian Polesje are presented. Large-scale land drainage, which resulted in a decrease in subsurface groundwater in areas adjacent to swampy and wetland lands with quartz-sandy soils, exacerbated the limiting importance of natural environmental factors: solar radiation, temperature and precipitation in their influence on the state and product potential pine trees, causing mass drying of the stand in anomalous weather conditions after 2014.

Key words: Belorussian Polesie; pine; melioration; tree-ring; solar radiation; climate.

Введение

В нашем исследовании подчеркивается экологическое и экономическое значение Белорусского Полесья, уникального края, отличающегося своим природно-климатическим своеобразием. Экономическая конъюнктура может усилить или ослабить пресс на лесные ресурсы, не уменьшая при этом их природоохранного значения. Здесь важно учесть все естественные и антропогенные факторы, оказывающие влияние на рост и развитие сохранившихся и восстанавливаемых лесных массивов. В этом плане могут оказаться полезными дендроклиматические исследования, позволяющие проследить временную динамику реализацией древостоем продукционных возможностей в нарастании стволовой массы – основного ресурсного потенциала экономического значения лесов.

Ключевое значение в природоохранном отношении принадлежит сосновой формации, на долю которой приходится больше половины лесной площади [1; 2]. Особая роль в сохранении сложившейся экологической ситуации после осушительной мелиорации в изменяющихся климатических условиях отводится именно сосне (*Pinus sylvestris* (L.)). Только она способна занимать участки слабо увлажняемых осадками рыхлых почв песчаных междуречий канализированных малых рек с освоенными, заболоченными в прошлом долинами, под сельскохозяйственное использование.

Уникальность ее насаждений заключается в том, что их литологической основой служат покровные кварцевые пески [3], которые значительно осложняют ведение лесного хозяйства. Автоморфные почвы на них (почвы только атмосферного увлажнения) отличаются исключительной бедностью. Малое содержание или полное отсутствие глинистых минералов не способствовало образованию почвенного поглощающего комплекса. Следует отметить, что кварцевые пески обладают особыми водно-физическими свойствами – повышенной порозностью и высокой фильтрующей способностью. Ситуация усугубляется на территориях, на которых выполнялась осушительная мелиорация. После нее «сырые пески» с глубиной залегания грунтовых вод во втором полуметре от поверхности почвы трансформировались в автоморфные.

На международной научно-практической конференции по вопросам деревообработки и антропогенного воздействия на лесные ресурсы [4] отмечалось, что в условиях сложной экологической обстановки возрастает роль леса в природе как ее основного компонента. При усиливающемся антропогенном факторе воздействия на окружающую среду, приобретающем зачастую невосполнимый, необратимый

характер, вопрос использования и воспроизводства лесных ресурсов свидетельствует об особой актуальности проблемы. В связи с этим целесообразно расширить спектр научных исследований, связанных с экологическими и экономическими аспектами лесовыращивания.

Материалы и методика исследования

Современное отмирание древостоя сосны на Белорусском Полесье можно рассматривать как экологическое бедствие. Короедное усыхание наиболее масштабно охватило ее в возрасте до 35 лет и в меньшей степени в более возрастных насаждениях [5]. Ситуация с сосной в этом регионе – это концентрированное отражение ее состояния на других территориях Беларуси, а также в полосе полесий в Украине, России и Польше.

Для выяснения причин угнетения и отмирания сосны нами был исследован многолетний ход изменчивости максимального индивидуального (каждого дерева) радиального прироста 52 деревьев сосняка мшистого (*Pinetum pleuroziosum*) на осушенной территории в Светлогорском и Октябрьском лесхозах (мелиоративные объекты «Ипа–Виша» и «Нератовка»), объединенных в одновозрастные серии 105 лет (14 стволов диаметром 32–40 см), 120 лет (13 – 40–54 см), 155 лет (16 – 52–58 см) и 200 лет (9 стволов диаметром 54–58 см).

Для получения продолжительных (от 105 до 200 лет) дендрохронологий образцы древесины (керны) отбирались возрастным буравом на высоте 1,3 м у наиболее крупных здоровых деревьев в пределах квартала, не привязанных к одному выделу, чтобы избежать взаимного влияния деревьев. Только таким образом удалось получить массовый материал для дендроклиматического анализа изменчивости продукционного потенциала сосны в меняющихся климатических условиях XIX–XXI вв. Исследование проводилось с целью определения поведения сосны при вероятном возврате предшествующих современному потеплению климатических условий (что не исключено) и ожидаемом дальнейшем изменении климата.

Ресурсный потенциал древостоя определяется более высокими размерностями индивидуального радиального прироста конкретного дерева по сравнению с другими в одновозрастной серии (группе), а не осредненными показателями годичных колец по этой же серии. Поэтому наша задача заключалась в выявлении данного показателя в календарной годичной привязке как потенциала нарастания стволовой массы.

Тип леса – сосняк мшистый с доминированием в напочвенном покрове мха Шребера (*Pleurozium schreberi*) с участием лишайника *Cladonia rangiferina*. Почва дерново-подзолистая слабо развитая на кварцевом песке со следующими горизонтами: элювиально-гумусный A_1A_2 (мощностью до 24 см, рыхлый мелкозернистый, пылеватый, монотонный светло-серый) и материнская порода, слабо затронутая почвенными процессами BC (24–200 см, рыхлый, разнотонный, светло-беловатый, вверху со слабо заметными сероватыми затеками, в средней и нижней частях монотонный, влажный). Лесная подстилка маломощна (до 2 см) или отсутствует.

Полевые исследования на междуречьях Ипы и Нератовки, канализированных в последней четверти XIX в., выполнялись еще Западной экспедицией И. И. Жилинского. Последнее переустройство мелиоративной сети осуществлено в 1960–1970-е гг. [6]. Осушенные болота и заболоченные земли использовались и используются в сельскохозяйственных целях как пахотные угодья. Таким образом, сосна на этих междуречьях с покровными кварцевыми песками уже в течение более 100 лет находится в условиях искусственного снижения грунтовых вод, следовательно, возврат к исходному их уровню уже невозможен. Их стабилизация на песчаных водоразделах после осушительной мелиорации происходит в течение 25 лет [7].

Временной анализ изменчивости максимального индивидуального радиального прироста, отражающего биопродукционный потенциал сосны при разных климатических условиях, нами выполнен до 1998 г. и после указанного года с заметно выраженным потеплением и резким увеличением притока прямой солнечной радиации [8].

Результаты исследования и их обсуждение

При разрывании в конце 1960-х гг. крупномасштабных мелиоративных работ на Полесье особую остроту приобрела проблема изменения первичной продуктивности лесов. Основным показателем, количественно определяющим характер влияния измененного водного режима песчаных почв в результате осушительной мелиорации сопредельных болот, является текущий радиальный прирост древостоя. Возникшие при этом методические трудности в отношении выделения роли тех или иных факторов, особенно мелиоративного, в формировании прироста и существовавшие разногласия по этому поводу позволили включить в долгосрочный прогноз 1970 г. «Оценка влияния осушительных мелиораций на изменение водного режима территории, природного ландшафта, флоры и фауны» только предварительные замечания [9].

В разработанных (1978 г.) Временной комиссией положениях «Методические рекомендации по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий» [10]

в качестве компромиссного решения было принято, что при условии неизменности климатической ситуации на Полесье, понижение грунтовых вод в результате осушительной мелиорации на 0,5 м (по сравнению с исходным уровнем) не вызывает существенных изменений текущего радиального прироста лесов на песчаных почвах региона.

После понижения грунтовых вод на 0,5–1,0 м, если их первоначальный уровень залегал не глубже 2,0 м, следует ожидать снижения стволовой продуктивности почти во всех сериях типов полесских лесов на этих почвах: в вересковой, брусничной, мшистой, орляковой, кисличной, снытевой и черничной. При понижении грунтовых вод более чем на 1,0 м должно происходить повсеместное (за исключением лесных фитоценозов на автоморфных почвах) снижение продуктивности лесов региона. Не исключалось, что негативное влияние понижения грунтовых вод может быть сглажено увеличением атмосферных осадков [10].

Результаты целенаправленных исследований, выполненных в 1970-е гг., свидетельствуют о том, что изменения в продуцировании древесной массы в сформировавшихся биогеоценозах сосны (тип леса сосняк мшистый и тип леса сосняк черничный), приспособленных к резкому колебанию увлажненности (чередование засушливых и влажных лет), несущественны. Изменения могут быть результативными спустя длительное время, в течение которого произойдет стабилизация в снижении грунтовых вод [11].

Понижение грунтовых вод, сопровождавшее осушительную мелиорацию, привело к массовому поражению культур сосны на выводимых из сельхозпользования малоплодородных песчаных почв в междуречьях Ипы, Виши, Неначи, Нератовки, Тремли, Желони и других канализированных малых рек (Светлогорский, Октябрьский, Калинковичский, Наровлянский, Петриковский лесхозы). Облесение вырубок и бывших сельскохозяйственных угодий потребовало конкретного ответа на вопрос: «Какими будут лесные ценозы после завершения мелиоративного освоения Белорусского Полесья?» [11].

За прошедшие почти 50 лет после разработки прогноза «Оценка влияния осушительных мероприятий на изменение водного режима территории, природного ландшафта, флоры и фауны» и 40 лет после утверждения в Совете Министров БССР положений «Методические рекомендации по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий», которые использовались Союзгипромелиоводхозом и Белгипроводхозом для принятия проектных решений по конкретным объектам на заключительном этапе мелиоративного освоения Полесья, изменился климат, произошла стабилизация в снижении уровня грунтовых вод и, главное, лесные экосистемы развиваются в новых экологических условиях. Отсюда следует предпринятая нами попытка оценить состояние культуры сосны, входящей в средний возраст на бросовых песчаных почвах, и ее естественных насаждений, оказавшихся в измененных условиях грунтового увлажнения, с привлечением максимального радиального прироста древесины.

Форма кривых возрастного тренда значений всех структурных элементов ствола дерева разнообразна. Возрастной тренд динамики ширины годичного кольца описывается куполообразной кривой с точкой перегиба, которая чаще всего приходится на возраст не более 6–10 лет. На высоте 1,3 м от корневой шейки эти кривые, как правило, не имеют точки перегиба [12]. Максимальный индивидуальный радиальный прирост сосны (за пределами точки перегиба) на кварцевых песках в своей временной динамике не отличался постоянством, не мог быть приурочен к куполу возрастной кривой и характеризовался значительной изменчивостью в разные календарные сроки, не имея одногодичной привязки (рис. 1).

Годы его реализации до 1998 г. у деревьев всех возрастных серий и между ними не совпадали. Подобное случилось только у двух 120-летних деревьев в засушливом 1959 г. (457 мм при годовой температуре 7,6 °С, за безлиственный период 1,6 °С). У двух деревьев 155-летнего возраста наоборот – при обильных осадках 1970 г. (за год 826 мм, в т. ч. в безлиственный период 422 мм и в вегетационный 404 мм) с умеренными температурными условиями (за год 6,1 °С, за безлиственный период – 0,8 °С), у 200-летних – до начала метеорологический наблюдений.

У всех деревьев в каждой возрастной серии максимальный радиальный прирост до 1998 г. изменялся в значительном диапазоне: в меньшем значении у 200-летних деревьев (1,7–4,5 мм), сравнительно равном у 155- и 120-летнего возраста (2,0–6,3 и 2,3–6,6 мм) и большем у 105-летнего (3,0–7,5 мм). С уменьшением возраста его диапазон непостоянства увеличивался. Максимальный индивидуальный прирост у 200-летнего поколения был ниже не только в течение всей его жизни, но и до 100-летнего возраста, не приобретая значений более молодых поколений, вероятными причинами которого могли быть погодно-климатические условия окончания малой ледниковой эпохи [8].

После 1998 г. при более высоких значениях температурного диапазона, но при малом его изменении относительно выпадения осадков, во всех возрастных группах максимальный индивидуальный радиальный прирост значительно сократился – в 2–3 раза. Причем этот показатель стволовой продуктивности у деревьев стал календарно совпадать, однако до 1998 г. такое совпадение, как отмечалось, встречалось в единичных случаях.

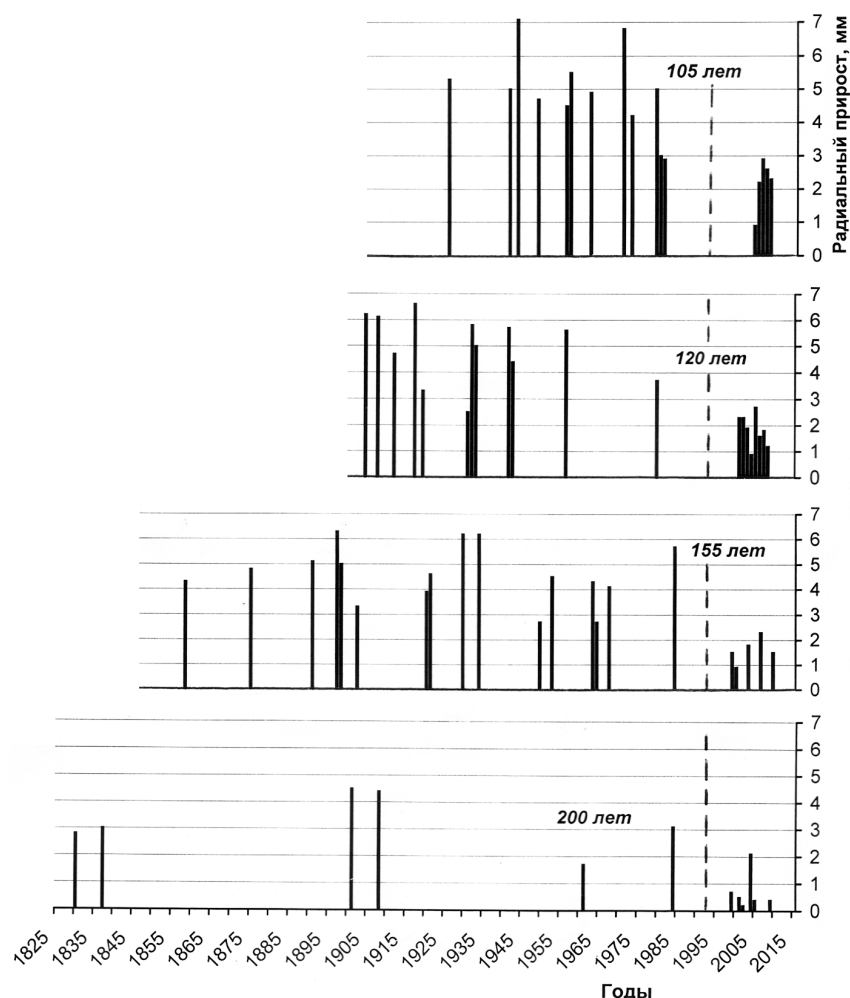


Рис. 1. Многолетний ход изменчивости внутрисериального максимального индивидуального радиального прироста сосны на автоморфной кварцево-песчаной почве. Вертикальной штриховой линией обозначен 1998 г.

Fig. 1. The multi-year course of variability of the intra-serial maximum individual radial growth of pine on automorphic quartz sandy soil. Vertical bar line marked 1998.

Максимальный индивидуальный радиальный прирост у деревьев возникал при широком диапазоне метеорологических величин как до, так и при потеплении после 1998 г. за месяцы безлиственного периода (октябрь–апрель), активного роста (май–июнь), вегетационного периода (май–сентябрь) и за гидрологический год (октябрь–апрель) (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия лет с максимальным индивидуальным радиальным приростом сосны на автоморфных песчаных почвах Белорусского Полесья

Table 1

Meteorological conditions of years with the maximum
Individual radial growth of pine on automorphic sandy soils of the Belarusian Polesje

Значения	Температура, t °C				Осадки, мм			
	октябрь – апрель	май – июнь	май – сентябрь	год	октябрь – апрель	май – июнь	май – сентябрь	год
До 1998 г.								
Средние	-0,3	15,4	15,6	6,4	293	139	362	641
диапазон	-2,9–(+1,6)	12,7–17,5	14,8–17,3	5,1–8,0	176–452	73–245	189–468	362–826
После 1998 г.								
Средние	1,5	16,0	16,7	7,9	368	134	311	679
диапазон	-1,1–(+2,8)	12,1–18,1	15,3–18,7	6,3–8,9	262–489	51–254	271–457	533–790

После 1998 г. наиболее благоприятным для нарастания стволовой массы у сосны оказался 2004 г. с наибольшим количеством осадков (790 мм), их обильным выпадением (419 мм) в безлиственный период и с относительно холодным вегетационным периодом (13,8 °С). В этот год радиальный прирост был наибольшим у всех возрастных поколений, но в 2 раза с меньшим значением, чем в климатических условиях до 1998 г. В климатических условиях Полесья до этого года продукционный потенциал сосны на кварцево-песчаной почве Полесья проявился в предельных значениях максимального индивидуального радиального прироста. Единичные эпизоды этих значений также календарно не совпадали: у 200-летнего дерева (4,5 мм) – 1901 г., 155-летнего (6,3 мм) – 1903 г., 120-летнего (6,6 мм) – 1923 г. и у 105-летнего (7,5 мм) – 1966 г. Сосна продемонстрировала свой продукционный потенциал в нарастании стволовой массы при различных погодных условиях (табл. 2).

Таблица 2

Метеорологические условия лет предельного значения максимального индивидуального радиального прироста сосны на автоморфных кварцево-песчаных почвах до 1998 г.

Table 2

Meteorological conditions of the years of the limiting value of the maximum individual radial increments of pine on automorphic quartz-sandy soils until 1998

Годы	Температура, t °C				Осадки, мм			
	октябрь – апрель	май – июнь	май – сентябрь	год	октябрь – апрель	май – июнь	май – сентябрь	год
1901	-0,1	17,5	17	7	243	132	310	553
1903	-0,1	16,6	16,5	6,8	277	245	515	792
1923	-0,8	14,6	15,1	5,8	–	184	402	–
1966	0,7	16,4	16,3	7,2	347	147	241	588

Изменение только метеорологических величин и даже водного режима почвы не могло привести к масштабному поражению ксерофита сосны после 1998 г. Следует отметить, что подобное раньше не наблюдалось. Массовой гибели древостоя вблизи мелиоративных объектов не отмечалось при аномально сильных засухах 1955 г. (за летние месяцы выпало 123 мм осадков), 1963 г. (94 мм) и 1976 г. (121 мм) и после них, хотя осадков было меньше, чем в 2015 г. (134 мм) и в 2016 г. (162 мм). Нужен был дополнительный сильнодействующий экологический фактор, чтобы в условиях измененного водного режима песчаной почвы и недобора осадков вызвать массовое отмирание ксерофита сосны.

Поступление солнечной радиации в фитоценозы Белорусского Полесья до этого года изменялось незначительно. После него приток прямой солнечной радиации за месяцы вегетационного периода увеличился на 319 МДж / м² (или на 26,0 %) по сравнению с предыдущими 1977–1998 гг. В 2014 и 2015 гг. он достиг наиболее высоких, рекордных значений – в 2014 г. (1840 МДж / м²) и в 2015 г. (1776 МДж / м²). При этом количество осадков за летние месяцы уменьшилось [8].

Понизившиеся после осушительной мелиорации грунтовые воды (глубже 2,0 м) не оказывают влияния на содержание влагозапасов в корнеобитаемом слое [13]. В условиях водного голода хвоя сосны не может противостоять яркому солнечному сиянию и приобретает к августу рыжую и бурую окраску как индикатор солнечного ожога (по аналогии с весенним ожогом у хвойных при обезвоживании хвои в результате водного голода при замерзшей почве). Подобная ситуация возникала и раньше (1999 г.) при несколько меньшем значении (1689 МДж / м²) прямой солнечной радиации, чем в 2014–2015 гг. Опавшая хвоя накрыла в октябре рыжим ковром напочвенный покров у сосняка мшистого.

Кроме естественных факторов (недобор осадков, малоснежная зима), обезвоживанию хвои у сосны во многом способствовал изменившийся после осушительной мелиорации водный режим кварцево-песчаного эдафотопы. Воднофизические исследования режима влажности песчаных почв под 15-летними культурами сосны на бывшей пашне в Наровлянском лесхозе показали, что почвенный профиль как в год со значительным недобором весенне-летне-осенних осадков (рис. 2), так и с большим количеством летних осадков (рис. 3) имеет глубокое резко выраженное иссушение [11].

Обильные ливневые дожди вызывали лишь незначительное промачивание (до 30–40 см) корнеобитаемого горизонта. Учитывая, что для нормального роста культуры сосны важным показателем является весенний запас влаги и глубина залегания грунтовых вод в первую половину вегетационного периода [14], такие предпосылки на кварцево-песчаных почвах не создаются даже при благоприятном выпадении осадков. Нижним оптимальным пределом для нормального развития растений является 6–7 весовых процента [15]. Следует отметить, что между омброгоризонтом, эпизодически увлажняемым атмосферными

осадками, и трихогоризонтом с капиллярным поднятием грунтовых вод залегает песчаный слой с постоянно низкой влажностью, непреодолимый для формирующейся корневой системы сосны.

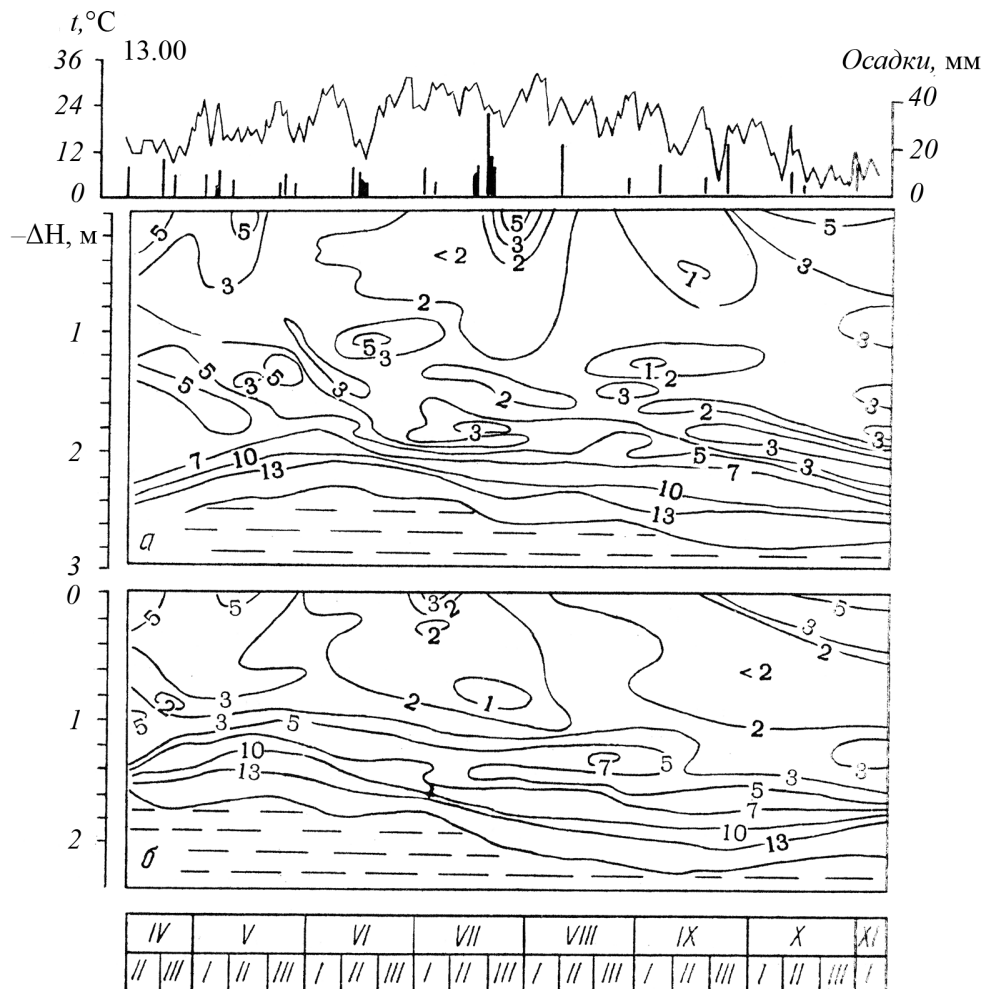


Рис. 2. Режим влажности в зоне аэрации песчаных почв от оттаивания до промерзания над водоносным горизонтом под культурами сосны в условиях засушливого весенне-летне-осеннего периода (1, 2, 3, 5, ... – хроноизолеты, водоносный горизонт заштрихован) [11]

Fig. 2. Humidity regime in the aeration zone of sandy soils from thawing to freezing above the aquifer under pine cultures in the conditions of arid spring-summer-autumn period (1, 2, 3, 5, ... – chronoisolets, aquifer horizon is shaded) [11]

Понижение грунтовых вод в почвах на кварцевых песках, сопровождавшее осушительную мелиорацию, в конечном итоге сказалось на формировании лесных массивов юга Беларуси на бросовых песчаных землях, оказавшихся не пригодными для сельскохозяйственного использования. В результате этих лесокультурных работ сформировались одновозрастные насаждения, которые с первых лет существования развивались в условиях искусственного понижения грунтовых вод. Длительное иссушение верхнего слоя песчаной почвы на кварцевых песках с быстрым разрушением маломощной лесной подстилки и гумусного горизонта приводило к гибели культуры сосны со слабо развитой корневой системой или ее повреждение энтомофиторами [6].

Как отмечалось, короедное усыхание сосны наиболее масштабно охватило ее в возрасте до 35 лет и в меньшей степени в более возрастных насаждениях [5]. Причина этой меньшей подверженности усыханию древостоя, по всей видимости, заключена в приспособительной функции корневой системы к изменившимся условиям водного питания. И. Н. Рахтеенко [16] отмечал, что вертикальные боковые корни сосны в поисках влаги и питательных веществ достигают глубины 2,5–3,0 м, при этом ростовые корни за вегетационный период могут увеличиваться на 25–30 см. Ростовые окончания физиологически активных корней обладают вообще способностью к неограниченному росту. Выполненные раскопки корневых систем в 50–65-летних древостоях свидетельствуют [11; 12], что основная масса проводящих горизонтальных и физиологически активных корней сосредоточена в верхнем почвенном слое (рис. 4).

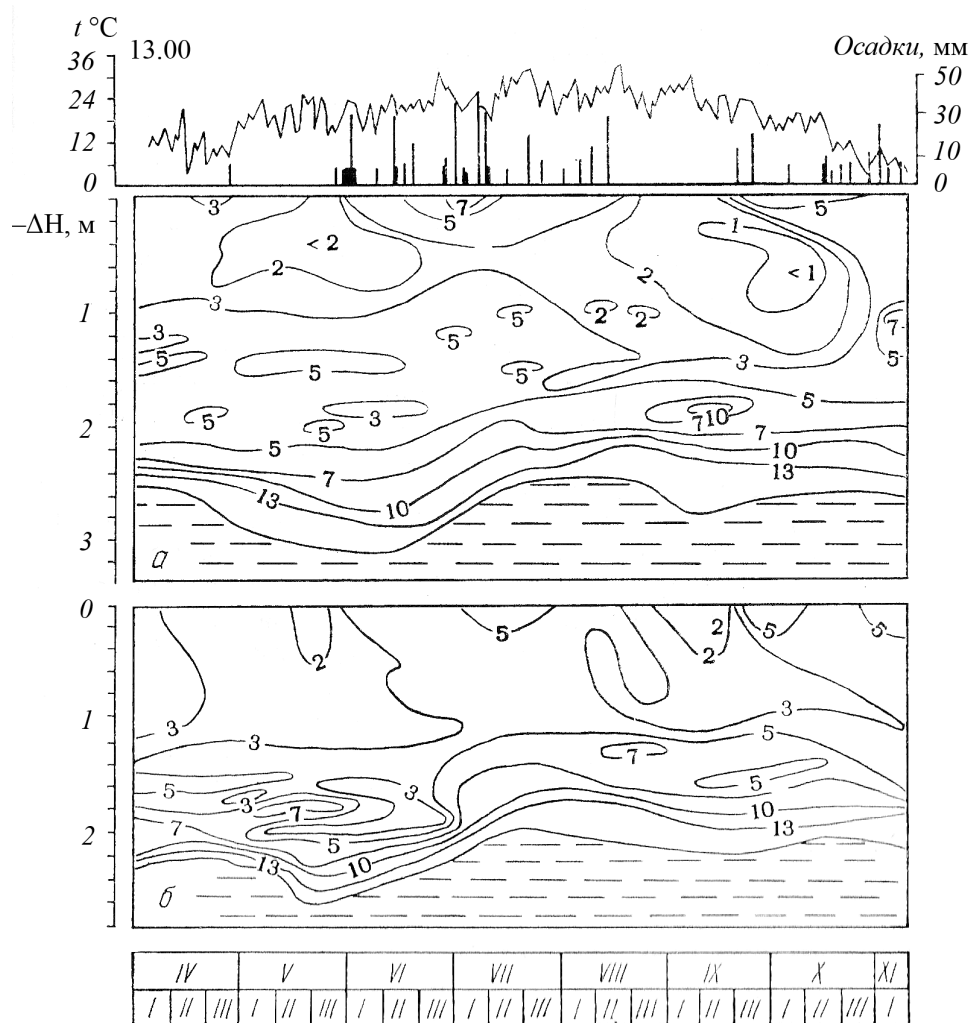


Рис. 3. Режим влажности в зоне аэрации песчаных почв от оттаивания до промерзания над водоносным горизонтом под культурой сосны в условиях обильных летних осадков [11]

Fig. 3. Humidity regime in the aeration zone of sandy soils from thawing to freezing above the aquifer under pine culture under conditions of heavy summer precipitation [11]

Горизонтальное ветвление проводящих горизонтальных корней имеет место при достижении ими подстилающего песок плотного слоя моренных супесчаных отложений на глубине 1,55–1,65 м. Эти горизонтальные окончания обладают значительным количеством сосущих корешков. Вертикальные корни достигли наибольшей глубины (до 2,3 м) при уровне грунтовых вод на 3,5 м ниже поверхности. О том, что корневые окончания на такой глубине физиологически активны, свидетельствует наличие у них сосущих корешков.

Можно предположить, что корни достигали зафиксированной глубины по мере снижения грунтовых вод при выполнении осушительной мелиорации смежных переувлажненных земель. По данным И. Н. Рахтеенко [16], корни интенсивно нарастают и проникают вглубь песчаной почвы примерно до 30-летнего возраста. В дальнейшем происходит только количественное увеличение корней на достигнутой глубине. Давность мелиорации к началу изучения корневых систем (1979 г.) у исследованных насаждений составила 21 год – время после нее укладывается в тот возрастной период, когда рост корней вглубь уже угасает или прекращается. Приспособительные функции корневой системы к изменяющимся водным условиям среды указали только на тенденцию снижения древесного прироста сосны, местопроизрастанием насаждения которой не являлись бросовые истощенные пахотные угодья, связанные с понижением грунтовых вод в результате осушительной мелиорации [11; 12].

Совершенно иная ситуация с сосной на бросовых песчаных землях. Раскопки показали, что корни этого растения в культуре на них проникают только до глубины 50 см [11; 12]. Суммация прямой солнечной радиации с недобором осадков при изменном водном режиме кварцево-песчаных почв снизила жизнеспособность сосны, вызвав массовое угнетение ее древостоя. Увеличение гелиорадиационного

притока в первую очередь выступило в значении дополнительного важнейшего лимитирующего фактора для культуры сосны в возрасте до 35 лет и старше на бросовых старопахотных землях (бывших сырых песках) после их передачи лесному хозяйству.

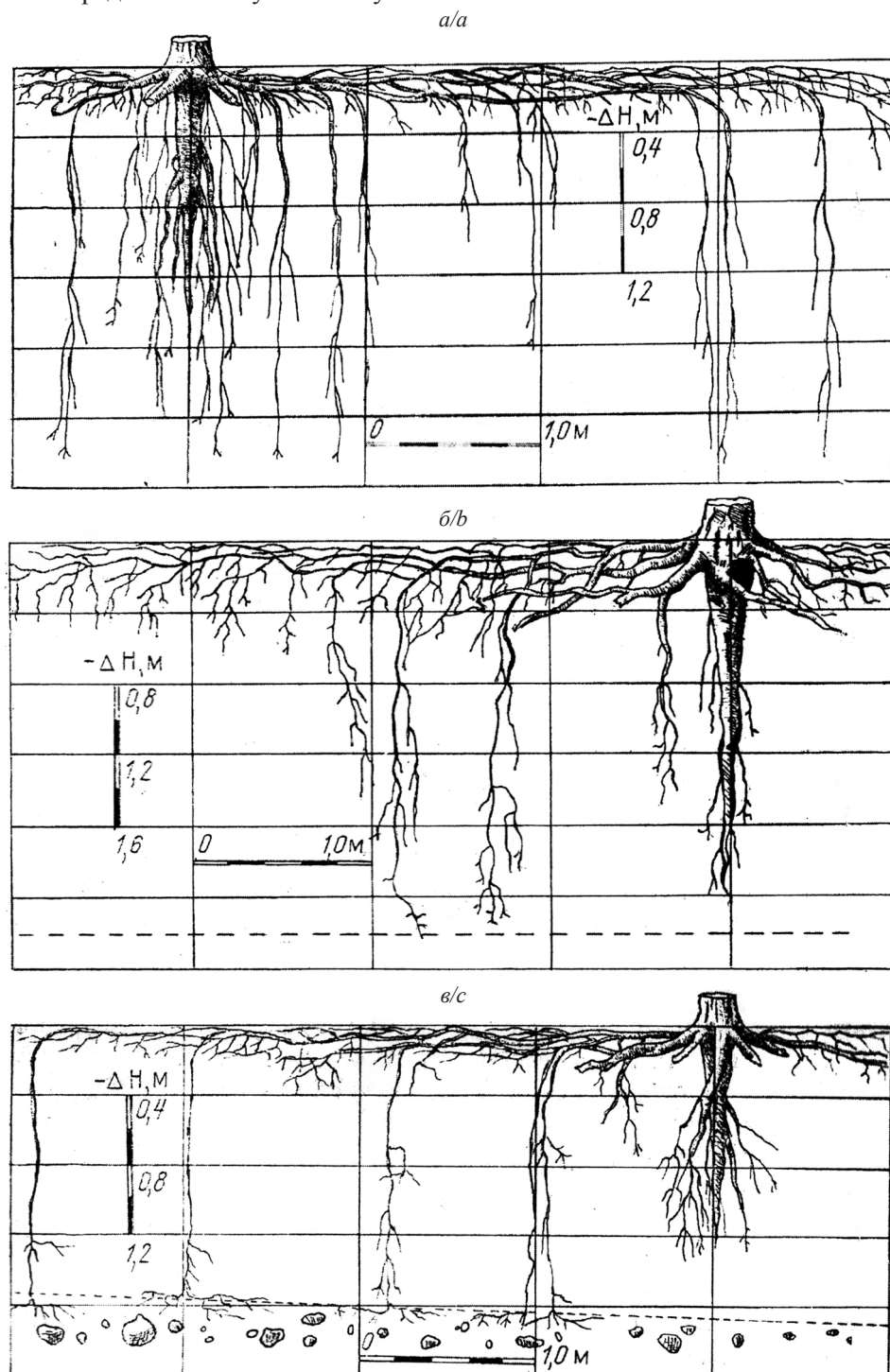


Рис. 4. Строение корневой системы сосны в песчаной почве: а – при глубоком залегании грунтовых вод; б – при глубине залегания грунтовых вод 2,2 м (штриховая линия); в – при подстилании моренной супесью [11; 12]

Fig. 4. The structure of the pine root system in sandy soil: а – with depth groundwater; б – with groundwater depth 2.2 m (dashed line); в – when styled with moraine sandy loam [11; 12]

Цепь последовательно зависимых процессов выстраивается следующим образом: возрастание поступления прямой солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → неполная обеспеченность эвапотранспирации через транспирационный ток влагой из-за ограниченности

влажностного содержания в кварцево-песчаной почве при глубоком залегании грунтовых вод → сокращение транспирации → повреждение хвои → угнетение стволовой продуктивности сосны вплоть до усыхания древостоя. Ослабленные деревья оказались легкой добычей верхушечного короеда.

Крупномасштабная осушительная мелиорация, в результате которой произошло снижение приповерхностных грунтовых вод на сопредельных с освоенными болотами и заболоченными землями кварцево-песчаных территориях, обострила лимитирующее значение естественных экологических факторов (солнечной радиации, температуры и осадков) в их влиянии на состояние и продукционный потенциал как сосны, так и ели в «островном» произрастании [8], вызвав массовое усыхание древостоя.

Прогноз динамики климата, особенно долгосрочный, по данным дендрохронологических рядов, в пределах лесной зоны принципиально невозможен [13]. Однако это не исключает возникновения погодно-климатических аномалий на ближайшую и отдаленную перспективу, которые могут приводить к кризисным явлениям, особенно в искусственно создаваемых лесостепях на истощенных землях. В связи с оптимизацией землепользования Беларуси планируется вывести из сельскохозяйственного оборота (с баллом бонитета ниже 25) 1,2 млн га, из них передать для ведения лесного хозяйства 790,0 тыс. га. Следует отметить, что на истощенных землях проведены лесные посадки на площади около 600,0 тыс. га [17; 18]. Повторение кризисных ситуаций будет особенно чувствительно в лесах на Белорусском Полесье, поскольку природой определены ограничения в использовании лесных и земельных ресурсов. Для сохранения экологического значения сосновых лесов на кварцевых песках необходимо сократить их роль в лесопромышленных целях. Природные особенности юга Беларуси, заключающиеся в широком распространении покровных кварцевых песков, должны учитываться при лесокультурном возобновлении насаждений сосны в природных условиях, сложившихся после осушительной мелиорации.

Заключение

Максимальный индивидуальный радиальный прирост сосны, отражающий ее потенциал в нарастании стволовой массы по диаметру, не имел календарной одногодичной привязки в климатических условиях до XX в., не подчинялся никаким закономерностям и не зависел от погодных условий при постоянных лимитирующих факторах (слабо развитая почва на кварцевых песках с низким влагосодержанием) Белорусского Полесья. Численное значение (от 1,7 до 7,5 мм) указывает на его вариабельность в автоморфных условиях кварцево-песчаного эдафотопы после понижения грунтовых вод в результате осушительной мелиорации сопредельных болот и заболоченных земель. Суммация естественных (увеличение притока прямой солнечной радиации, потепление климата) и антропогенных (культура сосны на бросовых пашнях, понижение грунтовых вод) факторов в XXI в. (после 1998 г.) вызвала угнетение сосны, выразившееся в сокращении максимального индивидуального радиального прироста в 2,0–2,5 раза и приведшее к массовому усыханию ее древостоя при летних засухах 2014–2015 гг. Не исключается появление погодно-климатических аномалий на ближайшую и отдаленную перспективу, что будет приводить к кризисным явлениям в искусственно создаваемых лесостепях на истощенных землях.

Библиографические ссылки

1. Ловчий Н. Ф. Кадастр типов сосновых лесов Белорусского Полесья. Минск, 2012.
2. Багинский В. Ф., Липицкая О. В. Ведение лесного хозяйства в сосновых лесах Белорусского Полесья // Известия Гом. гос. ун-та им. Ф. Скорины. № 3 (96). 2016. С. 16–20.
3. Русаленко А. И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность. Минск, 1986.
4. Резолюция Международной научно-практической конференции по вопросам деревообработки и антропогенного воздействия на лесные ресурсы / П. А. Саскавич (ред.). Горки, 2017. С. 8–15.
5. Сазонов А. А., Звягинцев В. Б., Кухта В. Н. и др. Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны. Минск, 2017.
6. Киселев, В. Н. Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения. Минск, 1987.
7. Комплексные экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника / под ред. А. В. Бойко, Е. А. Сидорович, А. Б. Моисеева. Минск, 1976.
8. Матюшевская Е. В., Киселев В. Н., Ярот А. Е. и др. Сравнительный анализ продукционного потенциала ели на осушенной и неосушенной территориях Белорусского Полесья // Журнал Бел. гос. ун-та. Экология. 2018. № 2. С. 38–47.
9. Смольский, Н. В. К вопросу прогноза изменения природных условий в Полесье в связи с мелиорацией земель // Проблемы Полесья: сб. ст. Минск, 1970. Ч. 1. С. 5–14.
10. Методические рекомендации по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий. Минск, 1978.
11. Киселев В. Н., Чубанов К. Д. Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья. Минск, 1979.
12. Киселев В. Н., Матюшевская Е. В., Ярот А. Е. и др. Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ). Минск, 2010.

13. Демаков Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Иошкар-Ола, 2000.
14. Бойко А. В., Смоляк Л. П. Бягучы прыраст лясных цэнозоў на прылягаючых да асушанага балота мінеральных землях Палесся // Весці АН БССР, серыя біял. навук. 1971. № 3. С. 37–42.
15. Зайдельман Ф. Р., Закс В. Г. Особенности мелиорации легких почв полесских ландшафтов // Почвоведение. 1972. № 1. С. 15–22.
16. Рахтеенко И. Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск, 1963.
17. Морозов Г. М. Рациональное использование выводимых из сельскохозяйственного оборота земель // Белорусское сельское хозяйство. 2004. № 2. С. 7–9.
18. Волович П. И., Кузьменков М. В. Лесоразведение и лесистость территории Республики Беларусь: возможности и перспективы ее повышения // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Гомель, 2011. Вып. 71. С. 20–30.

References

1. Lovchiy N. F. [Cadastre of types of pine forests of the Belarusian Polesie]. Minsk, 2012 (in Russ.).
2. Baginskiy V. F., Lapitskaya O. V. [Forest management in the pine forests of the Belarusian Polesye]. *News Gom. State University*. 2016. No 3 (96). P. 16–20 (in Russ.).
3. Rusalenko A. I. [Annual growth of trees and moisture supply]. Minsk, 1986 (in Russ.).
4. Saskevich P. A. (ed.). [Resolution of the International Scientific and Practical Conference on the woodworking and anthropogenic impact on forest resources]. Gorki, 2017. P. 8–15 (in Russ.).
5. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B., Kukhta V. N., et al. [Forest management in conditions of bark beetle pine drying]. Minsk, 2017 (in Russ.).
6. Kiselev V. N. [Belarusian Polesie: environmental problems of land reclamation]. Minsk, 1987 (in Russ.).
7. Bojko A. B., Sidorovitch E. A., Moiseeva A. B. (eds.) [Comprehensive experimental studies of landscapes of the Pripyatsky Reserve]. Minsk, 1976 (in Russ.).
8. Matyushevskaya Ye. V., Kiselev V. N., Yarotov A. Ye., et. al. [Comparative analysis of the production potential of spruce in the dried and undrained territories of the Belarusian Polesie]. *J. Bel. State University. Ecology*. 2018. No. 2. P. 38–47 (in Russ.).
9. Smol'skiy N. V. [On the issue of forecasting changes in the natural conditions in Polesie in connection with land reclamation]. *Problems Polesye*: coll. art. Minsk, 1970. Part 1. P. 5–14 (in Russ.).
10. [Guidelines for assessing the impact of reclamation systems on ecological complexes of adjacent territories.]. Minsk, 1978 (in Russ.).
11. Kiselev V. N., Chubananov K. D. [Landscape-Ecological Studies of the Belarusian Polesie]. Minsk, 1979 (in Russ.).
12. Kiselev V. N., Matyushevskaya Ye. V., Yarotov A. Ye., et. al. [Coniferous forests of Belarus in modern climatic conditions (dendroclimatic analysis)]. Minsk, 2010 (in Russ.).
13. Demakov Yu. P. [Diagnostics of the sustainability of forest ecosystems (methodological and methodological aspects)]. Ioшkar-Ola, 2000 (in Russ.).
14. Bojko A. V., Smolyak L. P. [Current forest grows tsenozoў adjacent to the drained marshes of mineral fellowcountryman Polesie]. *News of the Academy of Sciences of the BSSR, Series of biol. science*. 1971. No 3. P. 37–42 (in Belarusian).
15. Zaydel'man F. R., Zacks V. G. [Peculiarities of light soil reclamation of the Polissya landscapes] *Soil Science*. 1972. No 1. P. 15–22 (in Russ.).
16. Rakhteyenko I. N. [Growth and interaction of the root systems of woody plants]. Minsk, 1963 (in Russ.).
17. Morozov G. M. [Rational use of lands withdrawn from agricultural use] *Belarusian Agriculture*. 2004. No. 2. P. 7–9 (in Russ.).
18. Volovich P. I., Kuzmenkov M. V. [Afforestation and forest cover of the territory of the Republic of Belarus: opportunities and prospects for its increase]. *Problems of forest management and forestry*: coll. of scientific papers. Gomel. 2011. Issue 71. P. 20–30 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 23.11.2018.
Received by editorial board 23.11.2018.

УДК 57.083.32

ИССЛЕДОВАНИЕ *IN VIVO* ГЕМАТОТРОПНЫХ И ИММУНОТРОПНЫХ СВОЙСТВ СУБСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ *GANODERMA LUCIDUM* И *LAETIPORUS SULFUREUS*

Т. Р. РОМАНОВСКАЯ¹⁾, Н. В. ИКОННИКОВА¹⁾, М. В. ЛОБАЙ¹⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Исследованы *in vivo* возможные гематотропные и иммунотоксические эффекты субстанций на основе мицелия грибов с лечебными свойствами *Ganoderma lucidum* LM-8 и *Laetiporus sulfureus* LM-11. Показано, что данные субстанции не обладают иммунотоксическим действием при использовании в дозе 50 мг/кг массы животного. Установлено, что применение в использованных дозах комбинированной грибной субстанции на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 вызывает снижение численности лейкоцитов в периферической крови при сохранении их физиологического уровня и лейкоцитарной формулы, а также выявлено ингибирующее действие на функциональную активность перитонеальных макрофагов. Основной иммунотропный эффект всех исследованных субстанций сосредоточен на усилении клеточного иммунного ответа, что проявляется достоверным в сравнении с контрольной группой животных увеличением индекса гиперчувствительности замедленного типа.

Ключевые слова: гематотропные свойства; иммунотропный эффект; иммунотоксичность; грибные субстанции; *Ganoderma lucidum*; *Laetiporus sulfureus*; перитонеальные макрофаги; гиперчувствительность замедленного типа; гуморальный иммунный ответ; видовой иммунитет.

STUDYING *IN VIVO* HEMATOTROPIC AND IMMUNOTROPIC PROPERTIES OF SUBSTANCES BASED ON MYCELIUM OF MUSHROOMS *GANODERMA LUCIDUM* AND *LAETIPORUS SULFUREUS*

T. R. ROMANOVSKAYA^a, N. V. IKONNIKOVA^a, M. V. LOBAI^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Dauhabrodskaya Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: N. V. Ikonnikova (sofnat@mail.ru)

Образец цитирования:

Романовская Т. Р., Иконникова Н. В., Лобай М. В. Исследование *in vivo* гематотропных и иммунотропных свойств субстанций на основе мицелия грибов *Ganoderma lucidum* и *Laetiporus sulfureus* // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 76–83.

For citation:

Romanovskaya T. R., Ikonnikova N. V., Lobai M. V. Studying *in vivo* hematotropic and immunotropic properties of substances based on mycelium of mushrooms *Ganoderma lucidum* and *Laetiporus sulfureus*. J. Belarus. State Univ. Ecol. 2019. No. 1. P. 76–83 (in Russ.).

Авторы:

Татьяна Ренальдовна Романовская – кандидат медицинских наук, доцент; доцент кафедры иммунологии и экологической эпидемиологии.

Наталья Валерьевна Иконникова – кандидат биологических наук, доцент кафедры иммунологии и экологической эпидемиологии.

Марина Валерьевна Лобай – преподаватель кафедры иммунологии и экологической эпидемиологии.

Authors:

Tatyana R. Romanovskaya, PhD (medicine), docent; associate professor at the department of immunology and environmental epidemiology.

trromanovskaya@gmail.com

Natalia V. Ikonnikova, PhD (biology), associate professor at the department of immunology and environmental epidemiology.

sofnat@mail.ru

Maryna V. Lobai, lecturer at the department of immunology and environmental epidemiology.

marina.lobai@mail.ru

The possible hematotropic and immunotoxic effects of substances based on the fungal mycelium with the healing properties of *Ganoderma lucidum* LM-8 and *Laetiporus sulfureus* LM-11 were studied *in vivo*. It is shown that these substances do not have an immunotoxic effect when used at a dose of 50 mg/kg of animal weight. It has been established that the use of a combined mushroom substation based on the *L. sulfureus* LM-11 and *G. lucidum* LM-8 mycelium in used doses causes a decrease in the number of leukocytes in the peripheral blood while maintaining their physiological level and leukocyte formula. The inhibitory effect of the combined mushroom substation on the functional activity of peritoneal macrophages was shown. The main immunotropic effect of all the investigated substances is focused on the enhancement of the cellular immune response, which is manifested as a significant increase in the hypersensitivity index of the delayed type in comparison with the control group of animals.

Key words: hematotropic properties; immunotropic effect; immunotoxicity; fungal substances; *Ganoderma lucidum*, *Laetiporus sulfureus*; peritoneal microphages; delayed-type hypersensitivity; humoral immune response; species immunity.

Введение

Известным источником для получения иммунокорректоров являются природные субстраты (растения, грибы, культуры бактерий). На их основе ряд лекарственных и диагностических препаратов уже активно работает в исследовательском и терапевтическом направлении. В тоже время субстанции природного происхождения отличаются сложным химическим составом. Вещества разных химических групп образуют в составе эукариотической или прокариотической клетки сложные комбинации, действие которых может кардинально отличаться от химически чистого соединения.

Важной научно-практической задачей в поле исследования и применения иммунокорректирующих средств природного происхождения является обеспечение стабильности наблюдаемого иммуностропного эффекта. Ее реализация находится на стыке химии, которая позволяет фракционировать и выделять разные компоненты из исходного биологического сырья, и иммунологии, позволяющей оптимизировать систему регистрации наличия иммуностропного эффекта и конкретизировать конечную мишень воздействия иммунокорректора. Не менее важно учитывать высокую степень индивидуальности проявления иммуностропного эффекта на клетках, в средах или в организмах. Разрешение этой задачи требует увеличения числа наблюдений и применения сложных экспериментальных моделей, позволяющих нивелировать случайные эффекты.

В качестве сырья для получения лечебных и диагностических препаратов с иммуностропной активностью используют базидиальные грибы. Они отличаются высоким уровнем исследованности химического состава. Многие их компоненты изучены в направлении противоопухолевой, противопаразитарной и противомикробной активности. Многочисленные эмпирические наблюдения демонстрируют возможность реализации подтвержденных эффектов базидиальных грибов через иммунитет. Это означает необходимость систематизированного и направленного исследования иммуностропной активности компонентов как самих базидиальных грибов, так и продуцируемых ими веществ [1].

Высшие базидиальные грибы являются продуцентами целого ряда биологически активных соединений: белков, липидов, полисахаридов, органических кислот, ферментов, витаминов и др. Многие из этих соединений фармакологически активны и, по сравнению с продуктами химического синтеза, менее токсичны и более эффективны при применении в медицинской практике [2–5].

В нашей стране разработан ряд соответствующих методических рекомендаций, регламентирующих изучение влияния на иммунную систему фармакологических средств: алергизирующего и иммунотоксического действия потенциальных лекарственных препаратов [6–8].

Предложенный подход к оценке иммунотоксического действия заключается в исследовании ряда интегральных иммунологических функций, позволяющих в эксперименте на животных, учитывая результаты гематологических и морфологических исследований лимфоидных органов, доказать или исключить возможность развития иммунотоксического действия, вызванного фармакологическим средством или его метаболитами.

Существующие представления о ходе развития защитных реакций иммунной системы свидетельствуют о том, что в эксперименте обнаружить повреждения в иммунной системе под воздействием фармакологических средств с большей вероятностью можно при использовании модели антигенного стимула, то есть на фоне развития специфического иммунного ответа, включающего в себя все этапы иммунного реагирования [7].

Однократное введение фармакологического средства с перерывом в 1 ч от введения антигена позволяет выявить прямое действие на иммунные реакции и на клетки иммунной системы.

Цель исследования – оценить гематотропную и иммуностропную активность субстанций на основе мицелия грибов *Ganoderma lucidum* LM-8 и *Laetiporus sulfureus* LM-11 в условиях *in vivo* в модели клеточного, гуморального иммунного ответа и в отношении факторов видового иммунитета.

Материалы и методы исследования

Субстанции на основе грибов представляют собой сухой измельченный мицелий грибов (порошок), полученный при погруженном культивировании базидиальных грибов *G. lucidum* LM-8 и *L. sulfureus* LM-11 на искусственных питательных средах в оптимизированных лабораторных условиях. Так, субстанция *G. lucidum* LM-8 содержит 100 % мицелий гриба ганодерма, а субстанция *L. sulfureus* LM-11 – 100 % мицелий гриба латипорус. В состав комбинированной субстанции входит порошок грибного мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 в соотношении 1:2 соответственно.

Исследование иммунотоксичности проведено на лабораторных животных – нелинейных мышах массой тела 18–22 г. Выбор нелинейных животных объясняется скрининговым этапом исследования: в группе мышей могут оказаться особи с индивидуальными особенностями иммунного ответа, что позволяет регистрацию реакции не отдельного типа, а многообразия. Таким образом, в зависимости от вариаций проявленных реакций исследование может быть переориентировано на оценку ответной реакции линейных животных.

Каждая группа состояла из 9 животных, получавших стандартный рацион питания и содержащихся в одинаковых условиях. Группы животных определены в соответствии с поставленными задачами:

- опытная группа 1 – животные, получавшие грибную субстанцию на основе мицелия *G. lucidum* LM-8;
- опытная группа 2 – животные, получавшие грибную субстанцию на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11;
- опытная группа 3 – животные, получавшие комбинированную грибную субстанцию на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8;
- группа контроля – интактные животные, которые вместо грибной субстанции получали дистиллированную воду в том же объеме и в те же дни, что и животные опытных групп. Для контроля использовали 2 группы животных, поскольку эксперимент проводили в два этапа, учитывая скрининговый характер исследования. На первом этапе изучали биологическое действие отдельных грибных субстанций, на втором – влияние комбинированной субстанции.

Дозы и режимы введения субстанций как потенциальных фармакологически активных веществ разработаны согласно общепринятым методикам. Субстанции вводили 7 дней (per os) 1 раз в день в дозе 50 мг/кг.

Индукция иммунного ответа производилась суспензией эритроцитов барана. Первая иммунизация эритроцитами барана в концентрации 1×10^7 эритроцитов в 0,1 мл изотонического раствора NaCl совмещена с первым введением субстанции. На 6-й день эксперимента проводилась индукция ГЗТ (введение разрешающей дозы антигена – эритроцитов барана под апоневроз задней лапы). На 8-е сутки животных снимали с эксперимента.

Согласно общепринятым требованиям к исследованию иммуностропного/иммунотоксического действия лекарственных препаратов [1–3], для оценки показателей видового иммунитета определялись следующие показатели периферической крови лабораторных животных:

- общее количество лейкоцитов периферической крови и лейкоцитарная формула;
 - функциональные параметры перитонеальных макрофагов, отражающие поглотительную способность фагоцитов в отношении *Staphylococcus aureus*: фагоцитарный показатель – ФП и фагоцитарное число – ФЧ;
 - показатели, отражающие метаболическую активность фагоцитов: количество НСТ+-клеток и средний цитохимический коэффициент – СЦК;
 - функциональная активность классического пути активации системы комплемента – СН50;
 - функциональная активность альтернативного пути активации системы комплемента – АР50.
- Для оценки показателей антигенспецифического (приобретенного) иммунитета определяли:
- индекс массы селезенки как интегральный параметр антигенспецифического иммунного ответа у мышей;
 - параметры развития гуморального иммунного ответа (число антителообразующих клеток селезенки – АОК) и титр антител к эритроцитам барана (гемагглютининов);
 - параметры развития клеточного иммунного ответа – индекс ГЗТ (выраженность реакции гиперчувствительности замедленного типа).

Исследование гемато- и иммуностропных свойств субстанций на основе грибного мицелия проведено в соответствии с методическими рекомендациями по изучению иммуномодулирующих лекарственных средств. Все использованные методики стандартны [1–3].

Обработка данных была проведена с применением программы Microsoft Excel. Характер распределения данных был проанализирован по критерию Шапиро–Уилка. Было показано, что для большинства полученных данных характерно параметрическое (нормальное) распределение ($p < 0,05$). В связи с этим

данные в таблицах представлены как среднее и соответствующее стандартное отклонение ($M \pm \sigma$). Сравнение данных было проведено по t -критерию Стьюдента в случае нормального распределения. Для анализа использовались табличные значения критерия Стьюдента с уровнем достоверности 95 % ($p < 0,05$). Если вычисленное значение t оказывалось меньше табличного, то различие между средним признавалось статистически не значимым. При вычисленном t большим, чем табличное значение, различие считалось значимым с вероятностью $> 95\%$.

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее в исследованиях показана значимость биологически активных соединений глубинного мицелия как отдельных грибов-продуцентов, так и специально составленных композиций из них, взаимодополняющих и усиливающих действие друг друга, для разработки комплексных препаратов широкого спектра действия с функционально-корректирующими свойствами. На основе глубинного мицелия полисахаридсинтезирующего гриба *G. lucidum* и липидсинтезирующего гриба *L. sulphureus* разработаны композиции с лечебными свойствами, характеризующиеся высоким содержанием липидов, фосфолипидов, полисахаридов, каротиноидов и фенольных соединений [9]. Биологическая ценность *L. sulphureus*, в частности высокая антиокислительная активность экстрактов из мицелия гриба, обеспечивается присутствием фенольных, полиеновых соединений, линолевой кислоты, а также каротиноидов в его мицелии [9]. Широчайший спектр биологической активности гриба *G. lucidum* (иммуномодулирующие, противоопухолевые, противовирусные, антиоксидантные, гипогликемические, гиполипидемические, гепато- и генопротекторные свойства) определяют высоко активные соединения мицелия – полисахариды, тритерпены, а также белки, жирные кислоты и нуклеозиды [10]. В большинстве случаев противоопухолевое и иммуномодулирующее действия *G. lucidum* обуславливают полисахариды. Исследования *in vitro* и *in vivo* свидетельствуют, что их воздействие на иммунную систему разнообразно и включает влияние на функции антигенпрезентирующих клеток, системы мононуклеарных фагоцитов, гуморального и клеточного иммунитета [11].

Влияние субстанций на основе мицелия грибов *G. lucidum* LM-8 и *L. sulphureus* LM-11 на общие и неспецифические показатели иммунной системы. Изучение влияния субстанций на основе мицелия грибов *G. lucidum* LM-8 и *L. sulphureus* LM-11 на показатели периферической крови показало, что животные опытных и контрольных групп не отличались по основным показателям, в частности по уровню лейкоцитов и характеру лейкоцитарной формулы. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние субстанций на основе мицелия *G. lucidum* LM-8 и *L. sulphureus* LM-11 на показатели неспецифической резистентности

Table 1

The effect of substances on the basis of *G. lucidum* LM-8 and *L. sulphureus* LM-11 mycelium on indicators of nonspecific resistance

Показатели периферической крови	Группы животных		
	контроль	опытная 1	опытная 2
		грибная субстанция	
		<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>
Число лейкоцитов, $\times 10^9/\text{л}$	$6,9 \pm 0,95$	$6,75 \pm 0,99$	$7,1 \pm 1,05$
Полинуклеарные клетки, %	$48,3 \pm 1,2$	$44,3 \pm 4,5$	$50,2 \pm 3,1$
Мононуклеарные клетки, %	$51,7 \pm 0,95$	$55,7 \pm 6,1$	$49,8 \pm 3,4$
ФП, %	$43,25 \pm 8,9$	$39,3 \pm 9,5$	$26,3 \pm 6,4^*$
ФЧ	$3,8 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,8$	$3,8 \pm 0,15$
НСТ ⁺ -клетки, %	$15,75 \pm 2,8$	$7,7 \pm 3,8^*$	$19,7 \pm 3,5^*$
СЦК	$0,17 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,04^*$	$0,2 \pm 0,02^{**}$
СН 50, усл.ед.	$25,6 \pm 2,4$	$42,8 \pm 1,9^*$	$28,8 \pm 3,4$
АР 50, усл.ед.	$8,4 \pm 1,2$	$7,95 \pm 3,1$	$8,75 \pm 2,2$

*различия достоверны в сравнении с контрольной группой, по критерию Стьюдента $p < 0,01$

**различия достоверны в сравнении опытной группой 1, по критерию Стьюдента $p < 0,01$

Выявлено, что субстанция *G. lucidum* LM-8 модифицирует функциональную активность перитонеальных макрофагов: в использованной дозе субстанция вызывает снижение показателей ФП и ФЧ (поглотительную

способность макрофагов в отношении *S. aureus*). Эта тенденция распространяется и на метаболическую активность перитонеальных макрофагов в НСТ-тесте: субстанция оказывает ингибирующий эффект, проявляющийся достоверным снижением % НСТ⁺-клеток и СЦК. Таким образом, мицелий субстанции *G. lucidum* LM-8 способствует увеличению активности классического пути активации системы комплемента.

Установлено, что субстанция грибного мицелия *L. sulfureus* LM-11 в использованных дозах обладает активностью в отношении факторов видового иммунитета: ингибирует метаболическую активность перитонеальных макрофагов в НСТ-тесте. Этот эффект проявляется снижением как % НСТ⁺-клеток, так и снижением СЦК. На фагоцитарную активность перитонеальных макрофагов мышей и состояние системы комплемента мицелий *L. sulfureus* LM-11 значимого влияния не оказывает.

Влияние субстанций на основе мицелия грибов *G. lucidum* LM-8 и *L. sulfureus* LM-11 на показатели специфического иммунитета. В отношении показателей специфического гуморального иммунитета, индуцированного эритроцитами барана по стандартным схемам, существенных различий между опытной и контрольной группами животных не обнаружено (табл. 2). Большинство эффектов регистрируются на уровне тенденции. Так, субстанция на основе мицелия *G. lucidum* LM-8 способствует некоторому усилению выраженности гуморального иммунного ответа на эритроциты барана, что проявлялось увеличением селезеночного индекса. В отношении числа АОК селезенки данная субстанция способствует снижению числа АОК. Субстанция *L. sulfureus* LM-11 оказывает слабо выраженное ингибирующее влияние на функциональные показатели гуморального иммунного ответа.

Таблица 2

Влияние субстанций на основе мицелия *G. lucidum* LM-8 и *L. sulfureus* LM-11 на показатели специфического иммунитета

Table 2

The effect of substances on the basis of *G. lucidum* LM-8 and *L. sulfureus* LM-11 mycelium on the indicators of specific immunity

Показатели	Группы животных		
	контроль	опытная 1	опытная 2
		грибная субстанция	
		<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulfureus</i>
Масса селезенки, г	0,22 ± 0,03	0,19 ± 0,02	0,21 ± 0,06
Селезеночный индекс	0,95 ± 0,03	1,1 ± 0,05	0,94 ± 0,2
Число антителообразующих клеток (АОК) селезенки (в 1000 спленоцитов)	740,0 ± 0,18	620,0 ± 0,13	550,0 ± 0,12
Титр гемагглютининов IgM, log ₂	2,7 ± 0,6	3,0 ± 1,0	2,7 ± 0,6
Титр гемагглютининов IgG, log ₂	3,3 ± 0,6	3,3 ± 1,15	3,0 ± 1,0
Выраженность реакции ГЗТ – индекс ГЗТ, %	4,0 ± 0,87	9,9 ± 2,4*	13,4 ± 5,3*

* различия достоверны в сравнении с контрольной группой, по критерию Стьюдента $p < 0,01$

Основной иммунотропный эффект исследованных препаратов направлен на модификацию клеточного иммунного ответа. Исследованные субстанции грибного мицелия *G. lucidum* LM-8 и *L. sulfureus* LM-11 вызывают стимуляцию ГЗТ, индуцированной эритроцитами барана. Такое соотношение иммунотропных эффектов исследованных препаратов является вполне естественным: как правило, в определенных условиях, ограничиваемых антигеном, модификация активности иммунного ответа охватывает лишь один из возможных механизмов. В данном случае мицелий *G. lucidum* LM-8 и *L. sulfureus* LM-11 в использованной дозе способствуют усилению клеточного иммунного ответа, не оказывая существенного влияния на гуморальный иммунный ответ.

Влияние комбинированной субстанции на основе мицелия грибов *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на показатели видового иммунитета. Количество лейкоцитов в процессе эксперимента находилось в пределах физиологических значений для мышей во всех исследуемых группах. К концу эксперимента зарегистрирована тенденция к снижению содержания лейкоцитов у животных, получавших комбинированную субстанцию на основе мицелия грибов (КС). Причем отличия в содержании лейкоцитов в данной группе мышей достоверны в сравнении с группой контроля (табл. 3).

Таблица 3

Влияние комбинированной субстанции (КС) на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на количество лейкоцитов в периферической крови и лейкоцитарную формулу мышей

Table 3

The effect of the combined substance (CS) based on the *L. sulfureus* LM-11 and *G. lucidum* LM-8 mycelium on the number of leukocytes in the peripheral blood and the leukocyte formula of mice

Показатели	Группы животных	
	контроль	опытная 3
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	$7,7 \pm 2,6$	$4,4 \pm 1,49^*$
Нейтрофилы п/я, %	$6,89 \pm 4,8$	$6,89 \pm 2,7$
Нейтрофилы с/я, %	$38,2 \pm 7,7$	$41,6 \pm 8,8$
Эозинофилы, %	$4,2 \pm 3,1$	$1,8 \pm 1,6$
Моноциты, %	$3,2 \pm 2,6$	$5,6 \pm 2,5$
Лимфоциты, %	$47,4 \pm 12,9$	$44,2 \pm 8,3$

*различия достоверны в сравнении с контрольной группой, по критерию Стьюдента $p < 0,01$

Анализ лейкоцитарной формулы выявил незначительные изменения, имеющие тенденции к снижению и не сопровождающиеся достоверностью различий в сравнении с контрольной группой мышей. Так, КС приводит к незначительному увеличению численности зрелых форм нейтрофилов и снижению численности эозинофилов. Использование КС способствует мало значимому увеличению численности моноцитов в периферической крови мышей. Следовательно, выявленные изменения могут иметь случайный характер, поскольку выраженность обнаруженных тенденций невелика.

В отношении влияния исследуемой КС на показатели функциональной активности перитонеальных макрофагов обнаружено наличие ингибирующих эффектов в отношении численности способных к фагоцитозу макрофагов, поглотительной способности макрофагов (выявляемой по параметру ФЧ), а также метаболической активности перитонеальных макрофагов (табл. 4). Следует отметить, что в отношении поглотительной способности макрофагов обнаруживается лишь тенденция к снижению параметров ФП и ФЧ. С другой стороны, в опытных группах мышей отмечается увеличение гетерогенности животных по параметрам ФП и ФЧ, что свидетельствует о наличии в группах животных, не ответивших на введение КГС снижением поглотительной способности перитонеальных макрофагов. Итак, можно констатировать наличие у исследованной КС способности ингибировать функциональную активность перитонеальных макрофагов, что, с одной стороны, полезно для контроля ряда форм воспалительных реакций, но, с другой стороны, может негативно влиять на развитие иммунного ответа.

Анализ влияния КС на показатели функциональной активности системы комплемента не показал значимых эффектов: параметры в опытных и контрольной группах были практически на одном уровне (табл. 4).

Таблица 4

Влияние комбинированной субстанции (КС) на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на функциональную активность перитонеальных макрофагов мышей и показатели функциональной активности системы комплемента мышей

Table 4

The effect of the combined substance (CS) on the basis of the *L. sulfureus* LM-11 and *G. lucidum* LM-8 mycelium on the functional activity of mouse peritoneal macrophages, on the indicators of the functional activity of the mouse complement system

Показатели	Группы животных	
	контроль	опытная 3
ФП, %	$30,9 \pm 19,6$	$17,8 \pm 12,7$
ФЧ	$4,8 \pm 2,5$	$3,03 \pm 2,2$
НСТ ⁺ -клетки, %	$12,4 \pm 8,2$	$7,7 \pm 3,6$
СЦК	$0,22 \pm 0,17$	$0,09 \pm 0,04^*$
AP50, усл. ед.	$4,6 \pm 2,6$	$3,2 \pm 2,4$
CH50, усл. ед.	$30,4 \pm 6,3$	$31,8 \pm 7,9$

*различия достоверны в сравнении с контрольной группой, $p < 0,05$

Влияние комбинированной субстанции на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на показатели антигенспецифического (приобретенного) иммунитета. Определение параметров массы тела животных, селезенки и селезеночного индекса при введении КС позволило установить иммунизирующие эффекты, выраженность которых в большей степени отмечается для массы селезенки и селезеночного индекса у экспериментальных животных. Все обнаруженные изменения имеют характер тенденции, за исключением снижения массы тела мышей (табл. 5).

Таблица 5

Влияние комбинированной субстанции (КС) на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на массу тела мышей, массу селезенки и селезеночный индекс в процессе иммунизации эритроцитами барана

Table 5

The effect of the combined substance (CS) on the basis of the *L. sulfureus* LM-11 and *G. lucidum* LM-8 mycelium on the body weight of the mice, the spleen mass and the splenic index in the process of immunization with sheep erythrocytes

Показатели	Группы мышей	
	контроль	опытная 3
Масса тела, г	22,03 ± 1,3	19,5 ± 1,8 *
Масса селезенки, г	0,34 ± 0,13	0,23 ± 0,16
Селезеночный индекс, %	1,55 ± 0,67	1,13 ± 0,76

*достоверность различий в сравнении с контрольной группой, $p < 0,005$

В отношении функциональных параметров приобретенного гуморального иммунного ответа (АОК, титр гемагглютининов) при применении грибной КС четких эффектов не обнаружено (табл. 6).

Таблица 6

Влияние комбинированной субстанции (КС) на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на показатели гуморального и клеточного иммунного ответа мышей при иммунизации их эритроцитами барана

Table 6

The effect of a combined substance (CS) based on the *L. sulfureus* LM-11 and *G. lucidum* LM-8 mycelium on the indices of the humoral and cellular immune response of mice upon immunization with sheep erythrocytes

Показатели	Группы животных	
	контроль	опытная 3
Число АОК (на 10^5 спленоцитов)	132,6 ± 28,6	141,1 ± 39,9
Титр гемагглютининов ($\log_2$)	4,6 ± 1,2	4,1 ± 1,4
Индекс ГЗТ, %	7,13 ± 0,058	17,4 ± 8,6 *
Количество мышей, ответивших по ГЗТ (абс. – % по группе)	3 (33,3 %)	6 (66,7 %)

*достоверность различий в сравнении с контрольной группой, $p < 0,05$

При анализе результатов исследования влияния комбинированной грибной субстанции на клеточный иммунный ответ, регистрируемый по развитию ГЗТ, установлено следующее: иммунизация в использованном режиме инициировала клеточный иммунный ответ у 33,3 % мышей контрольной группы. У мышей, получавших КС, ответная реакция в виде ГЗТ проявилась у 66,7 % особей. Более того, выраженность реакции ГЗТ достоверно выше у животных, принимавших КС.

Заключение

Показано, что субстанции на основе мицелия грибов *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 не обладают иммунотоксическим действием при использовании в дозе 50 мг/кг массы животного.

Основной иммуностропный эффект исследованных субстанций сосредоточен на усилении клеточного иммунного ответа, что проявляется достоверным, в сравнении с контрольной группой животных, увеличением индекса ГЗТ. В отношении влияния на функциональную активность перитонеальных макрофагов субстанции оказывают неоднозначные эффекты, что может быть связано с определенным состоянием организма животных (например, наличие условно-патогенных микроорганизмов) в конкретный промежуток времени. Применение субстанции *G. lucidum* LM-8 способствует увеличению функциональной активности классического пути активации системы комплемента.

В ходе изучения влияния комбинированной грибной субстанции на основе мицелия *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 (в соотношении 1:2 соответственно) установлено, что ее применение вызывает

снижение численности лейкоцитов в периферической крови при сохранении их физиологического уровня и лейкоцитарной формулы. Комбинированная грибная субстанция в использованных дозах ингибирует функциональную активность перитонеальных макрофагов. При этом в отношении метаболической активности макрофагов комбинированная субстанция оказывает максимальный эффект.

Показано, что применение КС в экспериментальных дозах не оказывало влияния на функциональную активность системы комплемента по параметрам AP50 и CH50, на реакции гуморального иммунного ответа, индуцированного эритроцитами барана. Выявлено незначительное снижение массы тела у мышей, получавших КС. Установлены достоверно различимые значения показателей, свидетельствующие о влиянии комбинированной субстанции на основе мицелия грибов *L. sulfureus* LM-11 и *G. lucidum* LM-8 на показатели клеточного иммунного ответа мышей при иммунизации их эритроцитами барана.

Таким образом, исследованные грибные субстанции с учетом выявленных иммуномодулирующих эффектов могут быть востребованы в целях ограничения выраженности воспалительного синдрома, а также применяться как средство вспомогательной терапии для усиления реакций клеточного иммунитета.

Библиографические ссылки

1. Шамцян М. М., Воробейчиков В. Г., Конусова А. С. и др. Иммуномодулирующие свойства высших базидиальных грибов // Цитокины и воспаление. 2012. Т. 11, № 1. С. 26–32.
2. Кочунова Н. А. Использование дереворазрушающих грибов класса *Basidiomycetes* в нетрадиционной медицине (Амурская область) // Бюллетень. 2014. Вып. 51. С. 112–117.
3. Булах Е. М. Грибы – источник жизненной силы. Владивосток, 2001.
4. Borchers A. T., Stern J. S., Hackman R. M., et al. Mushrooms, tumors, and immunity // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1999. Vol. 221, № 4. P. 281–293.
5. Wasser S. P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2002. Vol. 60, № 3. P. 58–74.
6. Хаитов Р. М., Гуцин И. С., Пинегин Б. В. и др. Экспериментальное изучение иммуномодулирующей активности фармакологических препаратов // Вестник фармакологического комитета. 1999. № 1. С. 31–36.
7. Хаитов Р. М., Пинегин Б. В. Современные иммуномодуляторы: основные принципы их применения // Иммунология. 2000. № 5. С. 4–7.
8. Хаитов Р. М., Пинегин Б. В., Латышева Т. В. Методические указания по испытанию новых иммуномодулирующих лекарственных средств // Вестник научного центра экспертизы и государственного контроля лекарственных средств. 2002. № 1. С. 11–21.
9. Бабицкая В. Г., Иконникова Н. В., Пучкова Т. А. и др. Биохимический состав композиций функционально-корректирующих препаратов на основе липид- и полисахаридсинтезирующих грибов // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2010. № 1. С. 237–238.
10. Автономова А. В., Краснопольская Л. М. Противоопухолевые и иммуномодулирующие свойства трутовика лакированного *Ganoderma lucidum* // Микология и фитопатология. 2013. Т. 47, № 1. С. 3–11.
11. Блякхер М. С., Аleshкин А. В., Федорова И. М. и др. Влияние ксилломаннана, выделенного из *Ganoderma lucidum* на продукцию цитокинов мононуклеарами периферической крови человека // Цитокины и воспаление. 2017. Т. 16, № 1–2. С. 27–30.

References

1. Shamtsyan M. M., Vorobeichikov V. G., Konusova A. S., et al. [Immunomodulatory properties of higher basidiomycetes]. *Cytokines and inflammation*. 2012. Vol. 11, No 1. P. 26–32 (in Russ.).
2. Kochanova N. A. [The Use of wood-destroying fungi of the class Basidiomycetes in alternative medicine (Amur region)]. *Bulletin*. 2014. Issue 51. P. 112–117 (in Russ.).
3. Bulakh E. M. [Mushrooms – a source of vitality]. Vladivostok, 2001 (in Russ.).
4. Borchers A. T., Stern J. S., Hackman R. M., et al. Mushrooms, tumors, and immunity. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1999. Vol. 221, No 4. P. 281–293.
5. Wasser S. P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2002. Vol. 60, No 3. P. 58–74.
6. Khaitov R. M., Gushchin I. S., Pinegin B. V., et al. [Experimental study of the immunotropic activity of pharmacological preparations]. *Vedomosti of the pharmacological Committee*. 1999. No. 1. P. 31–36 (in Russ.).
7. Khaitov R. M., Pinegin B. V. [Modern immunomodulators: the main principles of their use]. *Immunology*. 2000. No. 5. P. 4–7.
8. Khaitov R. M., Pinegin B. V., Latysheva T. V. [Methodical instructions on testing of new immunomodulatory drugs]. *Vedomosti scientific center of expertise of state control of drugs*. 2002. No. 1. P. 11–21 (in Russ.).
9. Babitskaya V. G., Ikonnikova N. V., Puchkova T. A., et al. [Biochemical compositions of functional-correcting preparations on the basis of lipid-and polysaccharide-synthesizing fungi]. *Immunopathology, Allergology, Infectology*. 2010. No. 1. P. 237–238.
10. Avtonomova A. V., Krasnopolskaya L. M. [Antitumor and immuno-modulating properties of tinder of varnished *Ganoderma lucidum*]. *Mycologia and Phytopathology*. 2013. Vol. 47, No 1. P. 3–11.
11. Blyakher M. S., Aleshkin A. V., Fedorova I. M., et al. [Influence xylomannan-isolated from *Ganoderma lucidum* on cytokine production mononuclear-mi peripheral human blood]. *Cytokines and inflammation*. 2017. Vol. 16, No 1–2. P. 27–30.

Статья поступила в редколлегию 05.02.2019.
Received by editorial board 05.02.2019.

УДК 634.737:581.5:581.522.4(476)

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ НА ВЫРАБОТАННОМ ТОРФЯНИКЕ ВЕРХОВОГО ТИПА

Ж. А. РУПАСОВА¹⁾, А. П. ЯКОВЛЕВ¹⁾, Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ¹⁾, Н. Б. КРИНИЦКАЯ¹⁾, А. А. ЯРОШУК¹⁾,
Т. М. КАРБАНОВИЧ²⁾, Л. В. ГОНЧАРОВА¹⁾, Э. И. КОЛОМИЕЦ³⁾, З. М. АЛЕЩЕНКОВА³⁾

¹⁾Центральный ботанический сад НАН Беларуси, ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь

²⁾Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь,
ул. Кирова, 15, 220030, г. Минск, Беларусь

³⁾Институт микробиологии НАН Беларуси, ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты сравнительного двухлетнего исследования биохимического состава плодов представителей двух видов рода – *Vaccinium* – *V. angustifolium* и межвидовых гибридов *V. angustifolium* × *V. corymbosum* (*North-country*, *Northblue*) на внесение полного минерального ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и микробных удобрений – МаКлоР, АгроМик и Бактопин при дифференцированном и совместном применении в опытной культуре на выработанном участке торфяного месторождения верхового типа.

Образец цитирования:

Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Василевская Т. И., Криницкая Н. Б., Ярошук А. А., Карбанович Т. М., Гончарова Л. В., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М. Влияние удобрений на биохимический состав плодов голубики на выработанном торфянике верхового типа // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 84–97.

For citation:

Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Vasilevskaya T. I., Krinitskaya N. B., Yaroshuk A. A., Karbanovich T. M., Goncharova L. V., Kolomiets E. I., Aleschenkova Z. M. The effect of fertilizers on the biochemical composition of blueberries fruits on the high cutover peatland. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 84–97 (in Russ.).

Авторы:

Жанна Александровна Рупасова – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор; заведующий лабораторией химии растений.

Александр Павлович Яковлев – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией экологической физиологии растений.

Тамара Ивановна Василевская – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории химии растений.

Наталья Болеславовна Криницкая – научный сотрудник лаборатории химии растений.

Андрей Андреевич Ярошук – аспирант лаборатории химии растений.

Татьяна Михайловна Карбанович – заместитель начальника Главного управления растениеводства Министерства сельского хозяйства и продовольствия.

Людмила Владимировна Гончарова – кандидат биологических наук, доцент; заместитель директора по научной и инновационной работе.

Эмилия Ивановна Коломиец – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор; директор Института микробиологии НАН Беларуси, заведующий лабораторией средств биологического контроля.

Зинаида Михайловна Алещенкова – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории взаимоотношений микроорганизмов почвы и высших растений.

Authors:

Zhanna A. Rupasova, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, doctor of science (biology), full professor; head at the laboratory of chemistry of plants.

J.Rupasova@cbg.org.by

Alexander P. Yakovlev, PhD (biology), docent; head at the laboratory of ecological physiology of plants.

A.Yakovlev@cbg.org.by

Tamara I. Vasilevskaya, PhD (biology); senior researcher at the laboratory of chemistry of plants.

T.Vasilevskaya@cbg.org.by

Natalia B. Krinitskaya, researcher at the laboratory of chemistry of plants.

Andrey A. Yaroshuk, postgraduate student at the laboratory of chemistry of plants.

alrikdorey@mail.ru

Tatiana M. Karbanovich, deputy head of the main plant industry directorate of the Ministry of agriculture and food.

veget@mshp.gov.by

Lyudmila V. Goncharova, PhD (biology), docent; deputy director for science and innovation.

L.Goncharova@cbg.org.by

Emilia I. Kolomiets, corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus, doctor of science (biology), full professor; director of the Institute of microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, head at the laboratory of biological control means.

kolomiets@mbio.bas-net.by

Zinaida M. Aleschenkova, doctor of science (biology); principal scientific researcher at the laboratory of interrelations between microorganisms of soil and higher plants.

kolomiets@mbio.bas-net.by

На фоне близких к средней многолетней норме погодных условий вегетационного периода испытываемые агроприемы способствовали существенной трансформации биохимического состава плодов голубики, состоявшей в основном в улучшении их вкусовых свойств за счет активизации биосинтеза растворимых сахаров при ингибировании им органических кислот, а также в их обеднении *C*- и *P*-витаминами, наиболее значительном при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$. В условиях жаркого и засушливого сезона для всех таксонов голубики, особенно для межвидовых гибридов, показано усиление позитивного влияния микробных удобрений на качество плодов. При этом у *V. angustifolium* установлено увеличение интегрального уровня их питательной и витаминной ценности в 1,3–2,5 раза относительно контроля, наиболее значительное на фоне внесения 50 %-ного раствора препарата МаКлоР, а также его 10 %-ного раствора в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ. У сортовой голубики при увеличении данного показателя в 2,5–14 раз наиболее результативным было совместное внесение препарата Бактопин в сочетании с АМГ.

Ключевые слова: фиторекультивация; голубика; сорта; плоды; биохимический состав; органические кислоты; растворимые сахара; пектины; сахарокислотный индекс; биофлавоноиды; дубильные вещества.

THE EFFECT OF FERTILIZERS ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF BLUEBERIES FRUITS ON THE HIGH CUTOVER PEATLAND

Zh. A. RUPASOVA^a, A. P. YAKOVLEV^a, T. I. VASILEVSKAYA^a, N. B. KRINITSKAYA^a, A. A. YAROSHUK^a,
T. M. KARBANOVICH^b, L. V. GONCHAROVA^a, E. I. KOLOMIETS^c, Z. M. ALESCHENKOVA^c

^aCentral Botanical Garden of National Academy of Sciences of Belarus, 2v Surhanava Street, Minsk 220012, Belarus

^bMinistry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, 15 Kirava Street, Minsk 220030, Belarus

^cInstitute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, 2 Kupreviča Street, Minsk 220141, Belarus

Corresponding author A. P. Yakovlev (A.Yakovlev@cbg.org.by)

The results are presented of comparative study of biochemical composition of fruits *V. angustifolium* and half-high-bush blueberry *Northcountry* and *Northblue* at fertilizer application NPK-compound ($N_{16}P_{16}K_{16}$) and of some microbial specimen – a liquid product of MaKlor in concentration of 10 and 50 %, a liquid and dry product of Agromik, and also a liquid product of Baktopin at the differentiated and joint application in test crop on recultivated cutover peatlands.

On the background of the weather conditions of the vegetation period close to the average long-term norm, the tested agro-techniques contributed to a significant transformation of the biochemical composition of blueberry fruits. It consisted in the improvement of their taste properties due to the enhancement of the biosynthesis of soluble sugars with the inhibition of that of organic acids, as well as in their depletion of *C*- and *P*-vitamins, the most significant when making $N_{16}P_{16}K_{16}$. In the conditions of the hot and dry season for all taxa of blueberry, especially for interspecific hybrids, the positive influence of microbial fertilizers on the quality of fruits has been shown. At the same time, *V. angustifolium* showed an increase in the integral level of their nutritional and vitamin value 1.3–2.5 times as compared to the control, most significant on the background of the introduction of a 50 % solution of the drug MaCloR, as well as its 10% solution in combination with AMG. In a varietal blueberry with an increase of this indicator in 2.5–14 times the most effective was the joint application of the drug Baktopin in combination with AMG dry mycorrhizal fertilizer.

Key words: artificial revegetation; blueberry; cultivars; fruit; biochemical composition; organic acids; soluble sugar; pectins; sugar and organic acids index; bioflavonoid, tannins

Введение

Интенсивные технологии сельскохозяйственного производства существенно расширили спектр задач, решаемых с использованием высокоэффективных микробиологических препаратов (МБП) комплексного действия. Для сохранения естественного плодородия почв, оживления земли, восстановления плодородного слоя, улучшения качества продукции в современных условиях агропроизводства целесообразным является их активное применение [1–4]. Но большинство МБП как у нас в стране, так и за рубежом прошли только экспериментальную апробацию на основных сельскохозяйственных культурах [5–9].

Вместе с тем до настоящего времени не было проведено комплексных испытаний МПБ на ягодных растениях сем. *Ericaceae* в специфических условиях на участках выработанных торфяных месторождений, характеризующихся чрезвычайно низким уровнем плодородия и сильнокислой реакцией почвенного раствора. В связи с оптимизацией режима минерального питания ягодных растений из сем. *Ericaceae*, в том числе чрезвычайно популярных у населения Беларуси интродуцентов из рода *Vaccinium* – *V. corymbosum* L. и *V. angustifolium* L. (голубика высокорослая и голубика узколистная), на рекультивируемых

площадах, выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений, представляется целесообразным использование в этих целях микробно-растительных ассоциаций, способствующих активизации микробиологических и биохимических процессов в остаточном слое торфяной залежи. Это позволило бы не только отказаться от традиционно применяемых и весьма дорогостоящих минеральных удобрений, но и обеспечить получение экологически чистой высоковитаминной ягодной продукции, соответствующей требованиям органического земледелия, что согласуется с принятым в ноябре 2018 г. Законом Республики Беларусь «О производстве и обращении органической продукции».

С целью установления особенностей формирования биохимического состава плодов голубики на фоне внесения удобрений, в 2017–2018 гг. в условиях опытной культуры на рекультивируемом участке торфяной выработки верхового типа в Докшицком р-не Витебской обл. было проведено сравнительное исследование влияния полного минерального и трех видов отечественных микробных удобрений (МаКлор, АгроМик и Бактопин) при дифференцированном и совместном применении на биохимический состав плодов интродуцированных таксонов голубики.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследований были использованы молодые генеративные растения *V. angustifolium* и двух межвидовых гибридов голубики (*V. angustifolium* × *Vaccinium corymbosum*) *Northcountry* и *Northblue*. Полевые опыты были заложены на участке сильноокислого ($\text{pH}_{\text{KCl}} - 2,8$), малоплодородного (содержание $\text{P}_2\text{O}_{5\text{н}}$ K_2O не более 12–15 и 11–21 мг/кг соответственно), полностью лишенного растительности остаточного слоя донного торфа средней степени разложения, представленного сфагново-древесно-пушицевой ассоциацией. Схема опыта включала 6 вариантов в трехкратной повторности и предусматривала двукратное за сезон (в мае и июне) луночное внесение удобрений: 1 – контроль, без внесения удобрений; 2 – внесение 10 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлоР (0,5 л/растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 3 – внесение 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор (0,5 л / растение); 4 – внесение 2 % рабочего раствора жидкого препарата АгроМик (0,5 л/растение); 5 – внесение 2 % рабочего раствора жидкого препарата Бактопин (0,5 л/растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 6 – внесение в почву NPK 16:16:16 кг/га д. в., или 5 г на 1 растение. В каждом варианте опыта было высажено по 18 растений голубики.

Исследование биохимического состава зрелых плодов исследуемых интродуцентов осуществляли по широкому спектру показателей, относящихся к разным классам действующих веществ, по распространенным методам получения аналитической информации [10–15]. Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Выявление наиболее эффективных агроприемов при оценке влияния удобрений на биохимический состав плодов опытных растений осуществлялось на основе запатентованного способа ранжирования объектов исследований по совокупности анализируемых признаков [16]. Данный способ основан на сопоставлении в тестируемых вариантах опыта, соответствующих испытываемым агроприемам, относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений анализируемых признаков от контроля. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно было судить о выразительности различий каждого варианта опыта с контролем по совокупности признаков, что позволяло провести их ранжирование в порядке снижения степени данных различий. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий с контролем являлось критерием наличия либо отсутствия преимуществ каждого тестируемого варианта опыта относительно других вариантов по набору анализируемых признаков. Соответственно, значения данного соотношения, превышавшие 1, свидетельствовали о наличии указанных преимуществ, тогда как значения, уступавшие 1, позволяли сделать вывод об их отсутствии. В порядке снижения величины данного соотношения устанавливали последовательность тестируемых вариантов опыта, а следовательно, и соответствующих им агроприемов, по мере снижения их эффективности.

Результаты исследования и их обсуждение

Годы исследований характеризовались выраженными контрастами погодных условий вегетационного периода. Отметим, что в 2017 г., несмотря на близкие к многолетней норме среднемесячные значения температуры воздуха, ее существенные подекадные колебания на протяжении сезона оказывали определенное негативное влияние на формирование плодов голубики. Это проявлялось в смещении сроков их

созревания на более позднее время и в снижении урожайности, что позволяет охарактеризовать данный сезон как не совсем благоприятный для полной реализации биологического потенциала опытных растений. Вегетационный период 2018 г., в отличие от предыдущего сезона, на всем своем протяжении характеризовался аномально жаркой погодой со значительным превышением среднесезонных температурных показателей при существенном дефиците атмосферных осадков (в июле их количество превышало многолетнюю норму).

Результаты исследования биохимического состава плодов опытных таксонов голубики в двухлетнем цикле наблюдений выявили весьма широкие диапазоны изменения его количественных характеристик в рамках полевого эксперимента (табл. 1), что свидетельствует о существенной их зависимости от уровня минерального питания. Как следует из табл. 2, на фоне близких к средней многолетней климатической норме погодных условий вегетационного периода 2017 г. влияние испытываемых агроприемов на исследуемые показатели у разных таксонов голубики оказалось весьма неоднозначным. Так, применение микробных и минеральных удобрений в большинстве случаев способствовало активизации накопления сухих веществ в плодах *V. angustifolium* и сорта *Northblue*, по сравнению с контролем, тогда как для сорта *Northcountry* было показано или снижение их содержания на 9–10 % (в обоих вариантах опыта с применением препарата МаКлоР), или отсутствие достоверного влияния на данный показатель. При этом в плодах голубики узколистной на фоне внесения микробных удобрений, за исключением варианта с использованием 50 %-ного раствора препарата МаКлоР, отмечено сходное увеличение (в пределах 19–21 %), по сравнению с контролем, содержания сухих веществ. Размер подобного его увеличения в варианте с внесением $N_{16}P_{16}K_{16}$ был заметно меньшим – не более 12 %. Превышение контрольного уровня содержания сухих веществ в плодах сорта *Northblue* на фоне внесения удобрений оказалось менее выразительным, чем у *V. angustifolium* (в пределах 5–8 %), причем в варианте опыта с совместным использованием препаратов Бактопин и АМГ достоверного изменения данного показателя не выявлено.

Таблица 1

Диапазоны варьирования в рамках полевого эксперимента количественных характеристик биохимического состава плодов голубики в двухлетнем цикле наблюдений (в сухом веществе)

Table 1

The ranges of variation of the quantitative characteristics of the biochemical composition of blueberry fruits in a field experiment in a two-year observation cycle (in dry matter)

Показатель	<i>V. angustifolium</i>	Сорт <i>Northcountry</i>	Сорт <i>Northblue</i>
Сухие вещества, %	15,5–18,8	14,3–17,7	13,7–18,1
Свободные органические кислоты, %	2,39–7,56	3,95–7,32	3,86–7,37
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	285,2–399,2	277,3–363,8	288,3–382,4
Гидроксикоричные кислоты, мг/100 г	880,3–1292,7	538,0–777,3	528,7–786,3
Растворимые сахара, %	45,3–58,7	40,3–60,7	44,7–60,0
Сахарокислотный индекс	6,0–20,9	5,7–15,4	6,6–15,6
Пектиновые вещества, %	7,47–9,57	5,13–8,43	5,73–10,53
Собственно антоцианы, мг/100 г	4083,3–8820,0	6673,3–11526,7	5366,7–10523,3
Лейкоантоцианы, мг/100 г	4928,0–7140,0	4108,0–8129,3	4125,3–8134,0
Сумма антоциановых пигментов, мг/100 г	8978,7–14740,7	11266,7–19656,0	11466,0–16774,3
Катехины, мг/100 г	1228,5–2002,0	1092,0–1471,2	1258,8–1683,5
Флавонолы, мг/100 г	2368,9–3973,7	2414,8–3897,3	2368,9–3285,9
Сумма биофлавоноидов, мг/100 г	13199,8–20062,7	15056,5–24918,3	14049,0–20967,6
Дубильные вещества, %	2,35–5,15	1,75–5,65	2,45–4,90

Наряду с этим в плодах *V. angustifolium* и сорта *Northblue* обозначились сходные по знаку тенденции в изменении содержания свободных органических кислот, проявившиеся более выразительно (как и в предыдущем случае) у первого таксона. Внесение микробных и минеральных удобрений способствовало заметному ингибированию биосинтеза в них титруемых кислот, на что указывало снижение их содержания, по сравнению с контролем, на 40–50 % у узколистного вида и на 8–37 % у сорта *Northblue*. В отличие от этих таксонов голубики, у сорта *Northcountry* ингибирующее действие удобрений на накопление в плодах титруемых кислот проявилось намного слабее и имело место только на фоне применения 50 %-ного раствора препарата МаКлоР и внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ при снижении их содержания относительно

контроля на 4 и 18 % соответственно. При этом в варианте опыта с использованием 10 %-ного раствора препарата МаКлоР достоверных изменений в содержании титруемых кислот выявлено не было. Однако в обоих вариантах с применением препарата АгроМик, по сравнению с контролем, показано не обеднение, а обогащение плодов этими соединениями на 9–10 %. Наиболее же значительное обеднение плодов всех таксонов голубики свободными органическими кислотами установлено на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$.

Таблица 2

Относительные различия с контролем вариантов полевого опыта с внесением удобрений по биохимическим характеристикам плодов голубики в годы исследований, %

Table 2

Relative differences in the biochemical composition of blueberry fruits in field experiments with fertilization, % of control

Показатель	Варианты опыта				
	2	3	4	5	6
	<i>V. angustifolium</i>				
Сухие вещества	<u>+20,6*</u> +6,7	<u>—**</u> —	<u>+19,4</u> +3,7	<u>+21,3</u> +9,1	<u>+12,3</u> —
Свободные органические кислоты	<u>-40,3</u> -38,2	<u>-43,5</u> -33,8	<u>-49,9</u> -30,0	<u>-46,6</u> -54,6	<u>-50,3</u> -43,0
Аскорбиновая кислота	<u>-13,8</u> -9,1	<u>-18,7</u> —	<u>-28,5</u> +23,2	<u>-19,5</u> -7,5	<u>-25,4</u> +9,9
Гидроксикоричные кислоты	<u>—</u> —	<u>-10,6</u> +5,5	<u>-16,1</u> +5,0	<u>-6,2</u> +14,8	<u>-7,7</u> —
Растворимые сахара	<u>+4,4</u> +6,7	<u>+6,0</u> +8,2	<u>+10,4</u> +12,2	<u>—</u> —	<u>+19,9</u> +19,8
Сахарокислотный индекс	<u>+75,0</u> +73,1	<u>+88,3</u> +63,4	<u>+120,0</u> +60,2	<u>+86,7</u> +124,7	<u>+141,7</u> +109,7
Пектиновые вещества	<u>+8,4</u> +4,4	<u>—</u> +5,8	<u>-7,1</u> —	<u>-4,1</u> —	<u>-3,7</u> +9,4
Собственно антоцианы	<u>-15,9</u> +7,4	<u>-19,1</u> -2,8	<u>-47,9</u> -26,3	<u>-53,7</u> -27,4	<u>-50,8</u> -12,6
Лейкоантоцианы	<u>+20,6</u> —	<u>+7,9</u> +4,2	<u>+7,3</u> -16,2	<u>-17,3</u> -13,9	<u>+8,1</u> +13,3
Сумма антоциановых пигментов	<u>—</u> +3,9	<u>-8,2</u> —	<u>-25,7</u> -21,6	<u>-39,1</u> -21,1	<u>-27,2</u> —
Катехины	<u>+29,4</u> +11,1	<u>+13,7</u> +14,8	<u>+17,6</u> +12,3	<u>+3,9</u> +11,1	<u>-8,8</u> +12,3
Флавонолы	<u>-11,7</u> +3,9	<u>-27,1</u> —	<u>-37,2</u> -6,4	<u>-30,8</u> +11,6	<u>-30,0</u> -18,5
Сумма биофлавоноидов	<u>—</u> +4,4	<u>-10,1</u> —	<u>-24,5</u> -16,0	<u>-34,2</u> -12,1	<u>-26,3</u> -3,3
Дубильные вещества	<u>-15,6</u> -10,5	<u>-7,8</u> -4,2	<u>-18,8</u> -9,5	<u>-17,2</u> +8,4	<u>-26,6</u> -10,5
Показатель	<i>Cory Northcountry</i>				
	2	3	4	5	6
	<i>Cory Northcountry</i>				
Сухие вещества	<u>-9,8</u> —	<u>-8,7</u> +9,1	<u>—</u> —	<u>—</u> +4,9	<u>—</u> —
Свободные органические кислоты	<u>—</u> -27,1	<u>-4,0</u> -11,8	<u>+8,6</u> +28,6	<u>+9,8</u> -7,7	<u>-18,4</u> -30,6
Аскорбиновая кислота	<u>—</u> —	<u>-6,8</u> —	<u>-8,2</u> -7,0	<u>-18,1</u> -10,2	<u>-14,2</u> —
Гидроксикоричные кислоты	<u>-21,1</u> -13,3	<u>-8,8</u> -3,7	<u>+8,9</u> +13,4	<u>—</u> -11,1	<u>-15,8</u> +25,2
Растворимые сахара	<u>+8,6</u> +5,0	<u>-6,3</u> -4,8	<u>+5,3</u> +6,8	<u>+5,3</u> +3,1	<u>+10,0</u> +11,8
Сахарокислотный индекс	<u>+82,5</u> +42,7	<u>+66,7</u> +7,3	<u>+110,5</u> -17,7	<u>+96,5</u> +11,5	<u>+121,1</u> +60,4

Окончание табл. 2

Ending table 2

Пектиновые вещества	– -4,5	+7,5 +6,7	+19,2 +32,8	+15,6 +26,1	+8,9 +6,7
Собственно антоцианы	-23,1 +7,0	– +37,4	– +42,3	+7,2 +21,7	-24,6 +72,7
Лейкоантоцианы	+9,8 +64,3	-15,3 +61,8	-13,1 +58,8	-14,7 +26,8	-14,0 +69,6
Сумма антоциановых пигментов	-11,9 +31,0	-5,6 +47,6	-4,4 +49,2	– +23,8	-21,0 +71,4
Катехины	+4,4 -5,7	+9,6 +11,5	+2,9 -17,2	+5,1 -9,2	– –
Флавонолы	+6,9 -8,7	+7,2 +31,8	+9,6 +32,4	-5,9 +8,1	-7,5 +47,4
Сумма биофлавоноидов	-8,0 +21,0	-2,7 +41,8	-1,7 +40,6	– +18,3	-17,5 +61,5
Дубильные вещества	-12,2 -8,2	-13,5 -58,8	+14,9 +32,9	+17,6 +11,8	-6,8 +3,5
Показатель	Copt Northblue				
Сухие вещества	+7,1 -7,7	+7,7 –	+5,4 –	– -11,6	+6,0 -7,7
Свободные органические кислоты	-37,1 -21,0	-7,9 –	-33,0 -24,2	– -8,2	-34,6 -26,5
Аскорбиновая кислота	-15,4 +14,5	-19,4 –	-14,0 +11,2	-10,3 +13,1	-14,3 –
Гидроксикоричные кислоты	-16,8 -16,8	-24,9 -24,9	-19,9 -19,9	+6,2 +6,2	-11,2 -11,2
Растворимые сахара	-9,4 +10,3	-11,9 +12,2	– -9,7	-7,5 -13,5	+2,5 +16,1
Сахарокислотный индекс	+43,8 +39,8	-4,1 +12,2	+47,9 +19,4	-9,6 -5,1	+57,5 +59,2
Пектиновые вещества	+6,9 +8,7	+4,8 +14,7	+8,7 +20,9	+18,6 +33,9	+36,8 +47,8
Собственно антоцианы	-23,5 +59,4	-11,6 +50,9	-16,8 +12,4	-3,0 +16,6	-29,9 +29,4
Лейкоантоцианы	+9,6 +17,5	– +17,2	-19,4 +14,3	– +52,9	-12,8 +18,3
Сумма антоциановых пигментов	-10,2 +40,7	-7,8 +35,9	-17,8 +13,2	-3,3 +32,8	-23,0 +24,4
Катехины	-16,2 -5,7	-19,8 -4,5	-18,0 +15,9	– +11,4	– +21,6
Флавонолы	-7,8 +10,3	-11,9 +23,6	-19,7 +16,7	+8,3 +8,0	-11,9 +16,7
Сумма биофлавоноидов	-10,4 +31,7	-9,7 +30,4	-18,2 +14,0	– +26,9	-19,3 +22,9
Дубильные вещества	-5,9 -6,9	-27,9 +36,1	-20,6 +26,4	-13,2 +12,5	– +4,2

*над чертой – данные за 2017 г.; под чертой – данные за 2018 г.

**проверк означает отсутствие статистически значимых различий по t-критерию Стьюдента с контролем при $p > 0,05$

Вместе с тем испытываемые агроприемы оказали выраженное в разной степени ингибирующее действие на биосинтез в плодах голубики не только титруемых, но также аскорбиновой и гидроксикоричных кислот. Как следует из табл. 2, содержание аскорбата в плодах *V. angustifolium* во всех вариантах опыта с внесением удобрений уступало таковому в контроле на 14–29 % при наибольших различиях, как и в содержании титруемых кислот, на фоне внесения препарата АгроМик и $N_{16}P_{16}K_{16}$. Подобные различия с контролем у межвидовых гибридов голубики были менее значительными, особенно у сорта *Northcoun-*

try, и варьировались в рамках эксперимента от 7 до 18 %. При этом наиболее существенное обеднение аскорбиновой кислотой плодов сорта *Northcountry* наблюдалось в варианте опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и АМГ, тогда как сорта *Northblue* – на фоне дифференцированного применения удобрения МаКлоР в 50 %-ной концентрации. Следует заметить, что у сорта *Northcountry* совместное внесение удобрений МаКлоР в 10 %-ной концентрации с АМГ не оказало достоверного влияния на содержание в плодах ни аскорбиновой, ни свободных органических кислот. Что касается гидроксикоричных кислот, то в большинстве вариантов опыта с внесением удобрений, особенно при использовании жидкого препарата АгроМик, в плодах *V. angustifolium* наблюдалось снижение их содержания по сравнению с контролем на 6–16 %, но при совместном внесении препаратов МаКлор в 10 %-ной концентрации и АМГ не было выявлено достоверных изменений параметров их накопления. Обеднение гидроксикоричными кислотами плодов межвидовых гибридов под действием удобрений имело более выраженный характер, чем у узколистного вида, особенно у сорта *Northblue*. У данного гибрида в большинстве вариантов опыта, особенно при использовании препарата МаКлор в 50 %-ной концентрации, наблюдалось снижение их содержания на 11–25 % относительно контроля. Лишь при совместном использовании препаратов Бактопин и АМГ отмечено незначительное (не более чем на 6 %) усиление накопления данных соединений. У сорта *Northcountry* подобный эффект был обнаружен при внесении жидкого препарата АгроМик, способствовавшего активизации накопления в плодах гидроксикоричных кислот на 9 % по сравнению с контролем, тогда как в остальных случаях имело место снижение их содержания на 9–21 %.

В большинстве вариантов опыта с внесением удобрений была выявлена существенная активизация биосинтеза растворимых сахаров в плодах сорта *Northcountry* и особенно *V. Angustifolium* по сравнению с контролем: содержание сахаров на 5–10 % в первом случае и на 4–20 % – во втором при наибольшей выразительности данного эффекта при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (см. табл. 2). При этом у *V. angustifolium* не было выявлено значимых изменений в содержании растворимых сахаров при совместном применении жидкого препарата Бактопин и микоризного удобрения АМГ, тогда как у сорта *Northcountry* установлено его снижение на 6 % при внесении МаКлоРа в 50 %-ной концентрации. Несмотря на это у данных таксонов голубики (во всех без исключения вариантах опыта) с внесением удобрений и преимущественного ослабления в плодах биосинтеза титруемых кислот при одновременном усилении накопления растворимых сахаров их вкусовые свойства в 1,7–2,4 раза превосходили в контроле, особенно в 4-м и 6-м вариантах опыта с дифференцированным внесением жидкого препарата АгроМик и полного минерального удобрения (см. табл. 2). При этом для сорта *Northblue*, в отличие от сорта *Northcountry* и *V. angustifolium*, было показано не усиление, а преимущественное ослабление биосинтеза растворимых сахаров на 8–12 % относительно контроля. Только в варианте с внесением $N_{16}P_{16}K_{16}$ отмечено крайне незначительное (в пределах 2–3 %), но все же достоверное увеличение их содержания по сравнению с контролем при отсутствии значимого эффекта при использовании жидкого препарата АгроМик. В результате более интенсивного обеднения плодов сорта *Northblue* свободными органическими кислотами, нежели растворимыми сахарами, значения их сахарокислотного индекса во 2-м, но особенно в 4-м и 6-м вариантах опыта оказались на 44–58 % выше, чем в контроле. Это позволяет заключить, что независимо от генотипа растений голубики, наиболее выраженное позитивное влияние на содержание в плодах растворимых сахаров и их вкусовые свойства оказывало внесение жидкого препарата АгроМик и полного минерального удобрения. В характере реакции пектинового комплекса плодов на внесение удобрений также обозначились весьма существенные межвидовые различия. Так, если для узколистной голубики в большинстве случаев было показано незначительное (в пределах 4–7 %) снижение содержания пектинов относительно контроля, то у межвидовых гибридов наблюдалось увеличение их содержания на 8–19 % у сорта *Northcountry* и на 5–37 % у сорта *Northblue* при максимальном проявлении выявленных эффектов в 4, 5 и 6 вариантах опыта на фоне применения препарата АгроМик, совместного внесения Бактопина и АМГ, а также $N_{16}P_{16}K_{16}$.

Как следует из табл. 2, усиление минерального питания способствовало ослаблению в плодах исследуемых таксонов голубики биосинтеза биофлавоноидов. Наиболее выразительно это проявилось у *V. angustifolium*, для которой в большинстве вариантов опыта, особенно при совместном применении Бактопина и АМГ, было показано снижение их общего количества на 10–34 % по сравнению с контролем. Только во 2-м варианте совместное внесение препаратов МаКлоР в 10 %-ной концентрации с АМГ не оказало достоверного влияния на содержание в плодах Р-витаминов. Намного слабее, чем у узколистного вида голубики, проявилось негативное действие испытываемых агроприемов на накопление последних в плодах межвидовых гибридов, особенно сорта *Northcountry*, у которого относительные размеры снижения общего количества данных соединений по сравнению с контролем составили 2–18 %, тогда как у сорта *Northblue* – 10–19 %. Заметим, что и в двух случаях наибольшие размеры данного снижения были установлены на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$. В отличие от *V. angustifolium*, у обоих гибридов голубики не было выявлено достоверных различий с контролем в содержании биофлавоноидов

в 5-м варианте опыта с применением Бактопина и АМГ при весьма значительном обеднении ими плодов на фоне совместного внесения препаратов МаКлоР в 10 %-ной концентрации и АМГ.

Поскольку доминирующее положение в Р-витаминном пуле плодов голубики принадлежит антоциановым пигментам, доля которых в нем обычно превышает 70 %, то столь значительное обеднение ягодной продукции биофлавоноидами при внесении удобрений должно быть связано с подавлением биосинтеза именно этих соединений. По нашим данным, на фоне внесения удобрений у *V. angustifolium* относительные размеры снижения в плодах общего количества антоциановых пигментов практически совпадали с установленными для суммы биофлавоноидов (см. табл. 2). Однако данное снижение в большинстве случаев было обусловлено значительным ослаблением биосинтеза только собственно антоцианов, что подтверждалось снижением их содержания относительно контроля на 16–54 %, особенно в 4, 5 и 6-м вариантах опыта. При этом лишь совместное внесение Бактопина и АМГ в 5-м варианте обуславливало обеднение плодов *V. angustifolium* не только собственно антоцианами, но и лейкоантоцианами (на 17 %), что значительно усиливало негативный эффект от данного агроприема в отношении этих групп биофлавоноидов. На фоне применения остальных агроприемов, особенно при совместном внесении МаКлоРа в 10 %-ной концентрации и АМГ, имела место активизация накопления лейкоантоцианов на 7–21 %, что заметно нивелировало отрицательное влияние удобрений на общий выход антоциановых пигментов.

На долю катехинов и флавонолов в составе Р-витаминного комплекса плодов голубики, как правило, приходится не более 30 % общего количества биофлавоноидов, однако данные соединения имеют важное физиологическое значение для человеческого организма [17]. При внесении микробных удобрений у *V. angustifolium* в изменении их содержания прослеживались противоположные тенденции – на фоне обогащения плодов катехинами на 4–29 %, особенно во 2-м варианте опыта, что было показано и для близких им по химической природе лейкоантоцианов, происходило одновременное их обеднение флавонолами на 12–37 %, тесно коррелирующее с динамикой собственно антоцианов (см. табл. 2). Как видим, у данного таксона голубики использование бактериальных препаратов оказывало стимулирующее действие на биосинтез в плодах восстановленных полифенолов и ингибирующее на таковой окисленных, тогда как использование полного минерального удобрения приводило к снижению в его плодах содержания и катехинов, и флавонолов. В отличие от *V. angustifolium*, в плодах межвидовых гибридов в большинстве вариантов опыта с внесением микробных удобрений улавливалось определенное сходство в направленности тенденций в изменении параметров накопления данных соединений. При этом у сорта *Northcountry* наблюдалось незначительное (в пределах 10 %), но все же достоверное увеличение (по сравнению с контролем) содержание в плодах и катехинов, и флавонолов, тогда как у сорта *Northblue*, отмеченного в этом плане более выраженной ответной реакцией на бактериальные препараты, было установлено снижение содержания и тех, и других на 8–20 %. При этом у обоих сортов голубики внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ не повлияло на накопление в плодах катехинов, но обусловило снижение содержания флавонолов на 8–12 %.

Внесение удобрений в основном способствовало обеднению плодов, особенно *V. angustifolium*, дубильными веществами на 7–26 %, по сравнению с контролем. Лишь на фоне совместного внесения Бактопина и сухого препарата АМГ у обоих межвидовых гибридов отмечено усиление накопления дубильных веществ, более выраженное у сорта *Northcountry*, у которого подобный эффект имел место также при внесении жидкого препарата АгроМик.

Таким образом, в близких к средней климатической норме погодных условиях вегетационного периода, несмотря на отчетливые генотипические различия в степени влияния удобрений на биохимический состав плодов исследуемых таксонов голубики, установлена явная общность доминирующих тенденций в изменении темпов накопления отдельных соединений. Так, и у *V. angustifolium*, и у обоих межвидовых гибридов наблюдалось преимущественное обеднение плодов свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, собственно антоцианами и дубильными веществами при существенном улучшении их вкусовых свойств. Вместе с тем однотипный характер преобладающих тенденций в изменении содержания ряда соединений при внесении удобрений прослеживался не во всех случаях. К примеру, обогащение плодов пектинами, как и обеднение лейкоантоцианами, отмечено только у межвидовых гибридов голубики, тогда как у узколистного вида наблюдалась противоположная картина. При этом снижение в них содержания флавонолов имело место только у *V. angustifolium* и сорта *Northblue* при доминировании накопительных тенденций у сорта *Northcountry*, у которого, как и у *V. angustifolium*, была показана активизация биосинтеза растворимых сахаров, тогда как у сорта *Northblue* отмечено их ингибирование. Тем не менее выявленные генотипические различия в изменении темпов накопления в плодах отдельных компонентов Р-витаминного комплекса при внесении удобрений не повлияли на общую для всех таксонов голубики тенденцию снижения суммарного содержания и антоциановых пигментов, и биофлавоноидов в целом. При этом относительные различия с контролем

количественных характеристик биохимического состава плодов, в зависимости от генотипа растений и вида удобрений, варьировались в диапазоне от 2 до 142 % при максимальных значениях у всех таксонов голубики для показателя сахарокислотного индекса.

На фоне менее благоприятных погодных условий вегетационного периода 2018 г., характеризовавшегося аномально высокими температурами воздуха при дефиците атмосферных осадков, влияние испытываемых агроприемов на количественные характеристики биохимического состава плодов голубики было весьма неоднозначным (см. табл. 2). У всех таксонов в большинстве вариантов опыта подтвердились выявленные годом ранее закономерности в характере различий с контролем в содержании в плодах действующих веществ, однако степень их выразительности оказалась иной, особенно у показателя сахарокислотного индекса и содержания пектиновых веществ.

Исключением из этого правила явилась смена ориентации данных различий у обоих межвидовых гибридов в содержании в плодах основных групп биофлавоноидов, особенно антоциановых пигментов. Так, если в предыдущем сезоне внесение и микробных, и особенно минеральных удобрений оказывало ингибирующее действие на биосинтез последних, то на фоне экстремальных погодных условий второго сезона испытывавшиеся агроприемы способствовали существенной активизации данного процесса, что подтверждалось превышением контрольных значений параметров общего накопления данных соединений на 24–71 % у сорта *Northcountry* и на 13–41 % у сорта *Northblue*. На наш взгляд, это объясняется физиологической ролью данных биологически активных соединений, обеспечивающих дополнительную защиту генеративных органов сортовой голубики от стрессовых факторов среды, к которым, наряду с неблагоприятными погодными условиями сезона, можно отнести также испытываемые агроприемы. Внесение удобрений способствовало также существенному обогащению плодов сортовой голубики флавонолами, что подтверждалось увеличением различий с контролем в их содержании в первом случае до 8–47 % и до 8–24 % во втором. При этом, несмотря на неоднозначные тенденции в изменении параметров накопления в плодах катехинов, во всех вариантах опыта с внесением удобрений наблюдалось увеличение, по сравнению с контролем, общего количества в них биофлавоноидов на 18–62 % у сорта *Northcountry* и на 14–32 % у сорта *Northblue*. У *V. angustifolium* подобного эффекта не выявлено, несмотря на сокращение различий с контролем в содержании в плодах основных групп полифенолов, на фоне сохранения доминирующих тенденций в характере выявленных различий.

Вместе с тем для узколистной голубики отставание вариантов опыта с использованием микробных удобрений от контроля в содержании гидроксикоричных кислот, установленное в предыдущем сезоне, в 2018 г. сменилось более активным (на 5–15 %) их накоплением при полном нивелировании подобных различий в варианте с внесением $N_{16}P_{16}K_{16}$ (см. табл. 2). Подобная картина смены ориентации различий с контролем вариантов с использованием микробных удобрений наблюдалась также и у сорта *Northblue* для содержания в плодах аскорбиновой кислоты. Как видим, погодные условия вегетационного периода оказывали заметное влияние на изменение количественных характеристик биохимического состава плодов голубики, особенно Р-витаминов, под действием удобрений, что наиболее выразительно проявилось у межвидовых гибридов.

В соответствии с методическим подходом [16], принятым нами для исследования ответной реакции растений голубики на внесение удобрений, за два года наблюдений было осуществлено повариантное суммирование относительных размеров положительных и отрицательных различий с контролем 14 характеристик биохимического состава плодов (табл. 3). По величине амплитуды выявленных различий можно было судить о степени влияния каждого испытываемого агроприема на интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов, тогда как на основании кратного размера соотношения позитивных и негативных сдвигов в их биохимическом составе можно было дать оценку выявленным в нем изменениям в ту или иную сторону, приняв за 1 контрольный вариант опыта.

Как видим, в близких к средней климатической норме условиях сезона 2017 г. растения *V. angustifolium* характеризовались существенно большей амплитудой выявленных сдвигов, по сравнению с межвидовыми гибридами, что свидетельствовало о большей восприимчивости биохимического состава плодов узколистного вида к действию удобрений. При этом у него в большинстве вариантов опыта с удобрениями было показано доминирование отрицательных сдвигов относительно контроля, что свидетельствовало о заметном снижении интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов. Это подтверждалось также отрицательными значениями совокупного эффекта в пределах от 29 до 157 %, наиболее значительными на фоне совместного внесения жидкого препарата Бактопин и сухого микоризного удобрения АМГ. Только в единичном случае – в варианте с внесением 10 %-ного раствора удобрения МаКлоР в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ – имело место существенное (в 1,6 раза) улучшение совокупности качественных характеристик плодов по сравнению с контролем. В соответствии со снижением кратного размера соотношения положительных и отрицательных сдвигов

в биохимическом составе плодов *V. angustifolium* под действием удобрений варианты полевого опыта были расположены в последовательности: **2 > Контроль > 3 > 6 > 4 > 5** при расхождении крайних позиций по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов в **3,9 раза**. Наряду с явно лидирующим в улучшении качественного состава плодов 2-го варианта опыта, довольно успешным в этом плане и лишь незначительно уступавшим контролю следовало признать 3-й вариант с использованием 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлоР.

Таблица 3

Различия с контролем вариантов полевого опыта с внесением удобрений
по биохимическому составу плодов голубики в годы исследований, %

Table 3

Differences in the biochemical composition of the fruit of blueberry field experience options
with the introduction of fertilizers with control in the years of research

Вариант опыта	Относительные различия, %				
	положительные	отрицательные	амплитуда	положительные ÷ отрицательные	совокупный эффект
	<i>V. angustifolium</i>				
2017 г.					
2	158,4	97,3	255,7	1,63	+61,1
3	115,9	145,1	261,0	0,80	-29,2
4	174,7	255,7	430,4	0,68	-81,0
5	111,9	268,7	380,6	0,42	-156,8
6	182,0	256,8	438,8	0,71	-74,8
2018 г.					
2	121,6	57,8	179,4	2,10	+63,8
3	101,9	40,8	142,7	2,50	+61,1
4	116,6	126,0	242,6	0,93	-9,4
5	179,7	136,6	316,3	1,32	+43,1
6	174,4	87,9	262,3	1,98	+86,5
Сорт <i>Northcountry</i>					
2017 г.					
2	112,2	86,1	198,3	1,30	+26,1
3	91,0	71,7	162,7	1,27	+19,3
4	179,9	27,4	207,3	6,57	+152,5
5	157,1	38,7	195,8	4,06	+118,4
6	140,0	139,8	279,8	1,00	+0,2
2018 г.					
2	171,0	67,5	238,5	2,53	+103,5
3	255,0	79,1	334,1	3,22	+175,9
4	337,8	41,9	379,7	8,06	+295,9
5	156,1	38,2	194,3	4,09	+117,9
6	430,2	30,6	460,8	14,06	+399,6
Сорт <i>Northblue</i>					
2017 г.					
2	67,4	136,4	203,8	0,50	-69,0
3	12,5	119,3	131,8	0,11	-106,8
4	62,0	158,6	220,6	0,39	-96,6
5	33,1	33,7	66,8	0,98	-0,6
6	102,8	137,7	240,5	0,75	-34,9

Окончание табл. 3

Ending table 3

2018 г.					
2	232,9	58,1	291,0	4,01	+174,8
3	233,2	29,4	262,6	7,93	+203,8
4	164,4	53,8	218,2	3,06	+110,6
5	214,3	38,4	252,7	5,58	+175,9
6	260,6	45,4	306,0	5,74	+215,2

У межвидовых гибридов голубики на фоне погодных условий сезона 2017 г. были установлены противоположные друг другу тенденции в трансформации биохимического состава плодов под действием удобрений – доминирование позитивных изменений относительно контроля у сорта *Northcountry* и негативных у сорта *Northblue*, у которого наблюдалось заметное сходство с узколиственным видом в характере ответной реакции на испытываемые агроприемы. Как следует из табл. 3, у первого гибрида практически во всех вариантах опыта с внесением удобрений отмечено увеличение питательной и витаминной ценности плодов в 1,3–6,6 раза (по сравнению с контролем) при положительном совокупном эффекте в диапазоне от 26 до 153 %, наибольшем в двух вариантах опыта – при совместном внесении препаратов Бактопин и АМГ и особенно значительном при использовании жидкого препарата АгроМик. При этом для *V. angustifolium* данные варианты опыта оказались наименее результативными в рамках эксперимента. Обращает на себя внимание, что внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ практически не повлияло на интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов сорта *Northcountry*, поскольку соотношение разноориентированных сдвигов в их биохимическом составе было равно 1.

В соответствии со снижением данного соотношения варианты полевого опыта были расположены в нижеприведенной последовательности: **4 > 5 > 2 = 3 > 6 = Контроль** при расхождении крайних позиций по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов в **6,6 раза**. Поскольку для сорта *Northblue* было показано доминирование отрицательных изменений в биохимическом составе плодов под действием удобрений, то соотношение в нем позитивных и негативных сдвигов относительно контроля варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне от 0,11 до 0,98 при величине совокупного отрицательного эффекта от 35 до 107 % (см. табл. 3). В соответствии со снижением данного соотношения варианты полевого опыта были расположены в последовательности: **Контроль = 5 > 6 > 2 > 4 > 3** при расхождении крайних позиций по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов в **8,9 раза**. Как видим, наиболее высоким, практически сопоставимым с контролем, данный показатель оказался при совместном внесении жидкого препарата Бактопин и сухого микоризного удобрения АМГ. Заметим, что этот агроприем был весьма результативным и для сорта *Northcountry*, что при подтверждении данного эффекта в многолетних исследованиях позволило бы рекомендовать его для получения высококачественной ягодной продукции у обоих межвидовых гибридов. Вместе с тем у всех опытных таксонов голубики наиболее значительные изменения в биохимическом составе плодов, оцениваемых по величине амплитуды сдвигов в ту и другую сторону относительно контроля, установлены в двух вариантах опыта – с внесением жидкого препарата АгроМик и с внесением полного минерального удобрения.

Как было показано выше, на фоне экстремальных погодных условий жаркого и засушливого сезона 2018 г. были выявлены существенные различия с предыдущим сезоном в трансформации биохимического состава плодов голубики под действием испытываемых агроприемов, что отразилось и на величине результирующих показателей, приведенных в табл. 3. В частности, у *V. angustifolium* отмечено ослабление влияния удобрений на совокупность анализируемых признаков, подтверждаемое смещением границ диапазона варьирования амплитуды положительных и отрицательных сдвигов относительно контроля в область более низких значений – до 142,7–316,3 % против 255,7–438,8 % в предыдущем сезоне при наибольшем значении данного показателя в 5 варианте опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и АМГ. При этом, в отличие от предыдущего сезона, в котором почти все испытываемые агроприемы оказывали негативное влияние на качество плодов данного вида голубики, в условиях сезона 2018 г. в большинстве вариантов опыта с внесением удобрений суммарная величина положительных сдвигов в 1,3–2,5 раза превосходила отрицательные результаты при изменении размера совокупного эффекта от +43,1 до +86,5 %. Это однозначно указывало на улучшение качественного состава плодов по сравнению с контролем. Только в единичном случае – на фоне внесения жидкого препарата АгроМик – соотношение совокупностей разноориентированных различий с последним было ниже 1. Тем не менее последовательность вариантов опыта в порядке снижения данного показателя отличалась заметным сходством

с установленной в предыдущем сезоне – $3 > 2 > 6 > 5 > \text{Контроль} > 4$ при расхождении крайних позиций по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов в **2,7 раза**. Как видим, лидирующее положение в приведенном ряду, как и годом ранее, принадлежало вариантам с внесением 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлоР, а также его 10 %-ного раствора в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ. Наиболее высокая эффективность данных агроприемов в плане улучшения качественного состава плодов *V. angustifolium* в контрастные по гидротермическому режиму сезоны позволяет их рекомендовать при плантационном выращивании данного вида на выработанных торфяниках верхового типа, тогда как наименее результативным следовало признать применение жидкого препарата АгроМик, а также жидкого препарата Бактопин в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ. При этом позитивное влияние на качество плодов полного минерального удобрения уступало таковому у наиболее эффективных микробных препаратов в 1,1–1,3 раза.

В отличие от *V. angustifolium*, у обоих межвидовых гибридов голубики в условиях сезона 2018 г. наблюдалось не ослабление, а усиление влияния испытываемых агроприемов, особенно при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, на биохимический состав плодов, что подтверждалось заметным смещением границ диапазона варьирования амплитуды разноориентированных различий с контролем в область более высоких значений, по сравнению с предыдущим сезоном – до 194,3–460,8 % у сорта *Northcountry* и до 218,2–306,0 % у сорта *Northblue* (см. табл. 3). Вместе с тем у обоих гибридов во всех без исключения вариантах опыта с внесением удобрений кратный размер соотношения данных различий, а следовательно, и интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов оказался существенно выше, чем в контроле, в 2,5–14,1 раза у сорта *Northcountry* и в 3,1–7,9 раза у сорта *Northblue*. Это однозначно свидетельствовало о значительном, причем более выраженном, чем у *V. angustifolium*, позитивном влиянии на данный показатель всех испытываемых агроприемов. При этом в соответствии со снижением указанного соотношения у сорта *Northcountry* варианты полевого опыта располагались следующим образом: $6 > 4 > 5 > 3 > 2 > \text{Контроль}$ при расхождении крайних позиций в приведенном ряду в **5,6 раза**. Подобная последовательность вариантов опыта для сорта *Northblue* была несколько иной: $3 > 6 = 5 > 2 > 4 > \text{Контроль}$ при менее значительном, нежели у сорта *Northcountry*, расхождении в ней крайних позиций в **2,6 раза**.

Следует отметить, что как и в предыдущем сезоне, сорт *Northcountry* характеризовался более значительными, по сравнению с сортом *Northblue*, позитивными изменениями интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов при внесении удобрений с более выраженными межвариантными различиями данных изменений. Вместе с тем, на фоне выявленных сортовых различий в приведенных рядах улавливалась определенная общность тенденций, состоящая в существенном усилении, по сравнению с предыдущим сезоном, эффективности полного минерального удобрения, особенно у сорта *Northcountry*, у которого она превышала показатели с применением бактериальных удобрений в 1,7–5,6 раза.

Однако в связи с тем, что использование данного вида удобрений не позволяет получать экологически чистую продукцию, то основное внимание в настоящих исследованиях было уделено микробным удобрениям, результативность которых в этом сезоне также оказалась выше, чем в предыдущем. При этом у сорта *Northcountry* наиболее высоким качеством плодов, оцениваемым по совокупности характеристик биохимического состава и превышавшим контрольный уровень в 4,1 и 8,1 раза, были отмечены 5-й и особенно 4-й варианты опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и АМГ в первом случае и жидкого препарата АгроМик – во втором. Заметим, что весьма близкая этой картина наблюдалась и в предыдущем сезоне при ином сочетании погодных условий (см. табл. 3). На наш взгляд, устойчивый по годам характер ответной реакции растений на использование данных агроприемов позволяет рекомендовать их при выращивании сорта *Northcountry* на рекультивируемых площадях выработанных торфяных месторождений.

У сорта *Northblue* столь же значительным, как и у сорта *Northcountry*, увеличением интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов относительно контроля (в 5,6 и 7,9 раза) характеризовались 5-й и особенно 3-й варианты опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и АМГ в первом случае и 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор во втором. Заметим, что в предыдущем сезоне с несколько пониженным температурным фоном второй агроприем был наименее результативным в эксперименте, что указывает на существенную зависимость ответа растений на его применение от погодных условий вегетационного периода. Это позволяет предположить, что внесение препарата МаКлор в 50 %-ной концентрации может способствовать существенному улучшению качественного состава плодов сорта *Northblue* лишь в жаркие и засушливые сезоны. Вместе с тем за два года наблюдений высокой эффективностью в этом плане, как и у сорта *Northcountry*, характеризовался 5-й вариант опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и АМГ. Это однозначно указывает на целесообразность использования данного агроприема при выращивании

сортовой голубики на рекультивируемых площадях торфяных месторождений, выбывших из промышленной эксплуатации.

Заключение

В результате сравнительного двухлетнего исследования в опытной культуре на выработанном участке торфяного месторождения верхового типа ответной реакции представителей двух основных видов рода *Vaccinium* – *V. angustifolium* и межвидовых гибридов *V. angustifolium* × *V. corymbosum* (*Northcountry*, *Northblue*) на внесение полного минерального ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и микробных удобрений – МаКлоР, АгроМик и Бактопин при дифференцированном и совместном применении установлено следующее:

- Применение и микробных, и минеральных удобрений в большинстве случаев способствовало активизации накопления сухих веществ, растворимых сахаров и пектинов в плодах *V. angustifolium* и сорта *Northblue*, по сравнению с контролем, и заметному ингибированию биосинтеза в них титруемых кислот, на что указывало снижение их содержания, относительно первого варианта на 40–50 % у узколистного вида и на 8–37 % у сорта *Northblue*. В результате этого значения их сахарокислотного индекса во 2-м (особенно в 4-м и 6-м вариантах опыта) оказались на 44–58 % выше, чем в контроле. Это позволяет заключить, что независимо от генотипа растений голубики, наиболее выраженное позитивное влияние на содержание в плодах растворимых сахаров и их вкусовые свойства оказывало внесение жидкого препарата АгроМик и полного минерального удобрения.

- В условиях жаркого и засушливого сезона для всех таксонов голубики, особенно для межвидовых гибридов, показано усиление позитивного влияния микробных удобрений на содержание в плодах основных групп биофлавоноидов, особенно антоциановых пигментов, что подтверждалось превышением контрольных значений параметров общего накопления данных соединений на 24–71 % у сорта *Northcountry* и на 13–41 % у сорта *Northblue*. На наш взгляд, это объясняется физиологической ролью этих биологически активных соединений, обеспечивающих дополнительную защиту генеративных органов сортовой голубики от стрессовых факторов среды, к которым, наряду с неблагоприятными погодными условиями сезона, можно отнести также испытываемые агроприемы.

- Для *V. angustifolium* установлено наиболее значительное увеличение интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов в 1,3–2,5 раза относительно контроля на фоне внесения 50 %-ного раствора препарата МаКлоР, а также его 10 %-ного раствора в сочетании с АМГ. У сортовой голубики при увеличении данного показателя в 2,5–14 раз наиболее результативным было совместное внесение препарата Бактопин в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ.

Библиографические ссылки

1. Дятлова К. Д. Микробные препараты в растениеводстве // Соросовский образоват. журн. 2001. Т. 7, № 5. С. 17–22.
2. Петров В. Б., Чеботарь В. К. Микробиологические препараты – базовый элемент современных интенсивных агротехнологий растениеводства // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 11–15.
3. Завалин А. А., Чеботарь В. К. Биологизация минеральных удобрений как способ повышения эффективности их использования // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 9. С. 45–48.
4. Аллахвердиев С. Р., Минькова Н. О., Ярыгин Д. В. и др. Эффективные микроорганизмы и экологичное растениеводство // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2013. № 1 (14). С. 3–7.
5. Алещенко З. М. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений // Наука и инновации. 2015. № 8 (150). С. 66–67.
6. Соловьева Е. А., Савчиц Т. Л., Алещенко З. М. и др. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. Минск, 2013. С. 331–342.
7. Сержанов И. М., Шайхутдинов Ф. Ш., Нуриев С. Ш. и др. Влияние биологических удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях северной части лесостепи // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 9. С. 29–31.
8. Стемпоржецкий Е. А., Воронкова Н. А. Эффективность применения минеральных и бактериальных удобрений при возделывании гороха на черноземных почвах Западной Сибири // Вест. Алтай. гос. аграр. ун-та. 2009. № 6 (56). С. 26–30.
9. Masliyov S. V. Influence of biologics on growth, development and yield of popcorn // Bulletin of Poltava State Agrarian Academy. 2015. № 3. P. 58–61.
10. Марсов Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники : дис. ... канд. фарм. наук. Пермь, 2006.
11. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. Введен 01.01.1983. М., 1982.
12. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. М., 1987. Вып. 1. Общие методы анализа. С. 286–287.
13. Скоринова, Ю. Г., Шафтан Э. А. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск. 1968. С. 451–461.
14. Чупахина, Г. Н., Масленников П. В. Методы анализа витаминов. Калининград, 2004.
15. Swain T., Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents // J. Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10. № 1. P. 63–68.

16. Способ ранжирования таксонов растения: пат. ВУ 7648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев; опубл. 08.07.2013.
17. Шмерко Е. П., Мазан И. Ф. Лечение и профилактика растительными средствами. Баку, 1992.

References

1. Dyatlova K. D. [Microbial preparations in plant growing]. *Soros Educational Journal*. 2001. Vol. 7. No 5. P. 17–22 (in Russ.).
2. Petrov V. B., Chebotar V. K. [Microbiological preparations as the basis element of intensive agrotechnologies in crop production]. *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011. No 8. P. 11–15 (in Russ.).
3. Zavalin A. A., Chebotar V. K. [Biologization of mineral fertilizers as method for increasing of their efficiency]. *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012. No 9. P. 45–48 (in Russ.).
4. Allakhverdiev S. R., Minkova N. O., Yarygin D. V., et. al. [Effective microorganisms and ecological pure crop production]. *Theoretical and applied problems of agro-industry*. 2013. No 1 (14). P. 3–7 (in Russ.).
5. Aleshchenkova, Z. M. [Microbial of fertilizing for stimulation of growth and development of plants]. *Science and Innovations*. 2015. No 8 (150). P. 66–67 (in Russ.).
6. Solovyova, A. A., Savchitz T. L., Aleschenkova Z. M., et. al. [Microbial AgroMic preparation for stimulation of growth and development of triticale]. *Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects*: coll. sci. tr. Minsk, 2013. P. 331–342 (in Russ.).
7. Serzhanov I. M., Shaykhutdinov F. Sh., Nuriev S. Sh., et. al. [Effectiveness of biological fertilizer on yield and quality of grain of spring wheat in the northern part of steppe]. *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2013. No 9. P. 29–31 (in Russ.).
8. Stemporzhetsky E. A., Voronkova N. A. [Efficiency of application of mineral and bacterial fertilizers in the cultivation of peas on black soil in Western Siberia]. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2009. No 6 (56). P. 26–30 (in Russ.).
9. Masliyov S. V. [Influence of biologics on growth, development and yield of popcorn]. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2015. No 3. P. 58–61.
10. Marsov N. G. Phytochemical study and biological activity of lingonberries, cranberries and blueberries ; dis. ... of PhD (pharmaceuty). Perm. 2006 (in Russ.).
11. [Methods for determination of solids] : GOST 8756.2-82. Introd 01.01.1983. Moscow : Publishing house Standartinform, 1982 (in Russ.).
12. [Determination of the content of tannins in medicinal plant raw materials]. *State Pharmacopoeia of the USSR*. Moscow, 1987. Issue 1. *General methods of analysis*. P. 286–287 (in Russ.).
13. Skorikova, Yu.G., Shaftan E.A. [Method for Determining Anthocyanins in Fruits and Berries]. *Proceedings of the 3rd Workshop on Biologically Active (medicinal) Substances of Fruits and Berries*. Sverdlovsk. 1968. P. 451–461 (in Russ.).
14. Chupakhina, G. N., Maslennikov P. V. [Methods for analyzing vitamins: Laboratory course]. Kaliningrad, 2004 (in Russ.).
15. Swain T., Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus Domenstica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric*. 1959. Vol. 10. No 1. P. 63–68.
16. [Method of ranking plant taxa]: pat. 17648 BY / Zh. A. Rupasova, V. N. Reshetnikov, A. P. Yakovlev; publ. 08.07.2013 (in Russ.).
17. Shmerko E. P., Mazan I. F. [Treatment and prevention with herbal remedies]. Baku, 1992 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 03.02.2019.
Received by editorial board 03.02.2019.

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Гируцкий А. А.</i> Экология семиосферы: традиции и новые подходы	4
---	---

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Журавков В. В., Позняк С. С., Скибинская А. Н.</i> Содержание трития в гидрографической сети в районе строительства Белорусской АЭС	18
<i>Петров Д. Л.</i> Повреждающие декоративные древесные растения тератформирующие фитофаги, осуществившие инвазию на территорию Беларуси в текущем столетии	24
<i>Тюлькова Е. Г.</i> Функциональные особенности фотосинтетической системы древесных растений в техногенных условиях	32

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Ерошов А. И.</i> Инактивирующее и мутагенное действие гамма-излучения на возбудителя паратифозной инфекции (<i>S. typhimurium</i> 355) в модельных средах	40
<i>Мерзлова О. А.</i> Концептуальный подход к реабилитации бывших радиационно опасных земель	46

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Зафранская М. М.</i> Диагностическое значение биомаркеров при рассеянном склерозе	56
--	----

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Матюшевская Е. В., Киселев В. Н., Яротов А. Е., Митрахович П. А.</i> Продукционный потенциал сосны для нарастания стволовой массы на автоморфных песчаных почвах Белорусского Полесья	65
<i>Романовская Т. Р., Иконникова Н. В., Лобай М. В.</i> Исследование <i>in vivo</i> гематотропных и иммуностропных свойств субстанций на основе мицелия грибов <i>Ganoderma lucidum</i> и <i>Laetiporus sulfureus</i>	76
<i>Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Василевская Т. И., Криницкая Н. Б., Ярошук А. А., Карбанович Т. М., Гончарова Л. В., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М.</i> Влияние удобрений на биохимический состав плодов голубики на выработанном торфянике верхового типа	84

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Girutskij A. A.</i> Ecology of semiosphere: tradition and new approaches	4
---	---

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Zhuravkov V. V., Pazniak S. S., Skibinskaya A. N.</i> Monitoring of the tritium concentration in the hydrographic network of the Belarusian NPP construction area	18
<i>Petrov D. L.</i> The teratofforming phytophagous arthropods damaging ornamental woody plants, expanded on the territory of Belarus in the current century	24
<i>Tulkova E. G.</i> Functional characteristics of woody plants photosynthetic system in technogenic conditions	32

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Eroshov A. I.</i> Inactivating and mutagenic effects of gamma-radiation on the causative agent of (<i>S. typhimurium</i> 355) paratyphoid infection in model media	40
<i>Miarzlova V. A.</i> Conceptual approach for the rehabilitation of former radiation hazardous lands	46

MEDICAL ECOLOGY

<i>Zafranskaya M. M.</i> Diagnostic value of biomarkers in multiple sclerosis	56
---	----

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Matushevskaya E. V., Kisieliou V. N., Jarotou A. E., Mitrakhovich P. A.</i> Pine production potential for stemple mass growth on automorphic sandy soils of Belarusian Polesje	65
<i>Romanovskaya T. R., Ikonnikova N. V., Lobai M. V.</i> Studying <i>in vivo</i> hematotropic and immunotropic properties of substances based on mycelium of mushrooms <i>Ganoderma lucidum</i> and <i>Laetiporus sulfureus</i>	76
<i>Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Vasilevskaya T. I., Krinitskaya N. B., Yaroshuk A. A., Karbanovich T. M., Goncharova L. V., Kolomiets E. I., Aleschenkova Z. M.</i> The effect of fertilizers on the biochemical composition of blueberries fruits on the high cutover peatland	84

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, сельскохозяйственным и техническим (экология) наукам.

Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

**Журнал Белорусского
государственного университета. Экология.
№ 1. 2019**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1,
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: jecology@bsu.by

«Журнал Белорусского государственного
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.
До августа 2017 г. выходил под названием
«Экологический вестник»
(ISSN 1994-2087).

Редактор Л. М. Корневская
Технический редактор М. Ю. Мошкова
Корректор М. Ю. Мошкова

Подписано в печать 03.2019.
Тираж 100 экз. **Заказ**.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2019

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 1. 2019**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
220030, Minsk.

Correspondence address: 23/1 Daŭhabrodskaja Str.,
220070, Minsk.

Tel. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: jecology@bsu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»
published since September, 2017.
Until August, 2017 named «Ekologičeskii vestnik»
(ISSN 1994-2087).

Editor L. M. Korenevskaya
Technical editor M. Yu. Moshkova
Proofreader M. Yu. Moshkova

Signed print 03.2019.
Edition 100 copies. **Order number**.

RUE "Information Computing Center of the Ministry
of Finance of the Republic of Belarus".
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.
17 Kalvaryjskaya Str., 220004, Minsk.

© BSU, 2019