



БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECOLOGY

Издается с сентября 2017 г.
(до 2017 г. – «Экологический вестник»)
Выходит четыре раза в год

Published since September, 2017
(until 2017 – «Ecologicheskij Vestnik»)
One copy in three months

3

2017

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ПОЗНЯК С. С.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Батян А. Н.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Герменчук М. Г.** ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Кильчевский А. В.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- 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.** Министерство окружающей среды Республики Польша, Варшава, Польша.

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **POZNYAK S. S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Batyan A. N.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Hermenchuk M. G.** Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Pollution and Environmental Monitoring, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Grichik V. V.** Belarusian State University, Minsk, Belarus
- Dardynskaya I. V.** World Health Center «Great Lakes», Chicago, USA.
- Zafranskaya M. M.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Kilchevsky A. V.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Lengfelder E.** Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munchen, Germany.
- Lyberatos G.** Athens Technical University, Athens, Greece.
- Loginov V. F.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Medvedev S. V.** The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Stepanov S. A.** International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
- Stozharov A. N.** Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
- Tarutin I. G.** N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.
- Szyszko J.** Ministry of the Environment of the Republic of Poland, Warsaw, Poland

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 504.03;502.315;172.12

МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРАКТИК В «ХОРОШЕМ ОБЩЕСТВЕ»

Е. А. КОВАЛЬ¹⁾

¹⁾*Средне-Волжский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России)» в г. Саранске, ул. Федосеенко, 6, 430003, г. Саранск, Россия*

Актуализируются такие мировоззренческие основания социальных экологических практик, как антропоцентризм, биоцентризм, экоцентризм и трансгуманизм. При этом социальные экологические практики рассматриваются не в контексте социальной реальности, а в значении такого варианта социального воображаемого, как «хорошее общество». Методом исследования является сравнительный анализ, который позволяет сопоставить перспективы антропоцентризма, биоцентризма, экоцентризма и трансгуманизма как основания социальных экологических практик в структуре либеральной и коммунитаристской моделей «хорошего общества». Результат исследования – это определение наиболее конструктивного сочетания мировоззренческого основания практик, осуществляемых с целью сохранения нон-антропной природы, и модели «хорошего общества». Установлено, что для либеральных моделей оптимальным основанием социальных экологических практик является антропоцентризм; для коммунитаристских – антропоцентризм, биоцентризм и экоцентризм. Поскольку трансгуманизм – это мировоззренческая позиция, базирующаяся на ценности преодоления человеком всего, что его ограничивает, включая старение и смерть, то он ориентирован на постчеловека, для которого будут актуальны альтернативные формы социальности.

Ключевые слова: социальные экологические практики; «хорошее общество»; антропоцентризм; биоцентризм; экоцентризм; трансгуманизм.

Образец цитирования:

Коваль Е. А. Мировоззренческие основания социальных экологических практик в «хорошем обществе» // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 4–10.

For citation:

Koval E. A. World view foundations of social environmental practices in «good society». *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 5–10 (in Russ.).

Автор:

Екатерина Александровна Коваль – кандидат философских наук; доцент кафедры правоохранительной деятельности и исполнительного производства.

Author:

Ekaterina A. Koval, PhD (philosophy); associate professor of law enforcement activities and enforcement proceedings department.
nwifesc@yandex.ru

Благодарность. Статья подготовлена в рамках исследовательского проекта «Нормативные основания "хорошего общества"» (грант Президента РФ МК-5295.2016.6).

WORLD VIEW FOUNDATIONS OF SOCIAL ENVIRONMENTAL PRACTICES IN «GOOD SOCIETY»

E. A. KOVAL^a

^a*Middle Volga Institute (Branch) of Russian State University of Justice (MOJ Russia RLA) in Saransk, Fedoseenko street, 6, 430003, Saransk, Russia*

The article is devoted to the analysis of such world view foundations of social ecological practices as anthropocentrism, biocentrism, ecocentrism and transhumanism. At the same time, social ecological practices are considered not in the context of social reality, but in the context of such variant of social imaginary as «good society». The main research method is a comparative analysis that allows one to compare the perspectives of anthropocentrism, biocentrism, ecocentrism and transhumanism as the basis for social ecological practices in the structure of liberal and communitarian models of «good society». The main result of the study is the definition of the most constructive combination of the world view foundations of practices carried out with the aim of preserving the non-anthropocentric nature and the model of «good society». It is established that anthropocentrism is the optimal basis for social ecological practices in liberal models and for communitarianism models anthropocentrism, biocentrism and ecocentrism. Transhumanism is a world view that is based on the value of overcoming by person of limiting everything, including aging and death. So transhumanism is focused on posthuman for which are likely to be relevant alternative forms of sociality.

Key words: social environmental practices; «good society»; anthropocentrism; biocentrism; ecocentrism; transhumanism.

Acknowledgements. The article is prepared within the framework of research project «Normative grounding of "good society"» (grant of the President of the Russian Federation МК-5295.2016.6).

Введение

В настоящее время существование глобальных экологических проблем, причиной которых стала человеческая деятельность, является неоспоримым фактом, подтверждающимся эмпирическими данными. Однако в социальном воображаемом по-прежнему сформированы представления об этих проблемах как о чем-то отдаленном и гипотетическом, что влечет за собой легкомысленное отношение к данным вопросам в повседневности, нежелание практиковать «малые дела» большинством граждан, формирование скептического отношения к таким мировоззренческим позициям, как биоцентризм и эоцентризм. Отметим, что под *социальным воображаемым* понимается совокупность представлений членов общества о нормах, ценностях, социальных практиках, существующих здесь и сейчас, о своем месте в обществе и о том, к чему стремится общество, каким оно будет в обозримом будущем.

Учитывая кризисное состояние не-антропоцентричной природы, как и человеческого общества, необходимо отметить, что формирование представлений о будущем в современном мире весьма проблематично. Люди отказываются от долгосрочных планов, поскольку изменчивые социально-природные реалии не позволяют успешно прогнозировать и планировать достижение социально значимых целей. Многие социальные практики имеют короткий «период полураспада»: едва возникнув, они модифицируются, а затем заменяются на другие, иногда противоположные по содержанию первоначальным. Эта тенденция характерна и для социальных экологических практик, под которыми понимаются «... системы индивидуальных и коллективных действий, обусловленных состоянием культуры и уровнем развития общества, изменением характера взаимодействия человека и общества с природной средой, с целью восстановления разрушенных экосистем и сохранения существующих» [1]. Можно предположить, что на содержание и эффективность реализации социальных экологических практик влияет не только текущий уровень развития общества, но и направление общественного развития, такое состояние общества, к которому следует стремиться.

На наш взгляд, перспективной эволюционной целью сегодня является «хорошее общество» – версия социального воображаемого, которая обладает следующими атрибутивными характеристиками: принципиальная достижимость и пригодность для жизни. «Хорошее общество» базируется на «хороших ценностях», относительно которых большинству его членов удалось достичь единомыслия. В научной

литературе разработаны различные модели «хорошего общества», которые по содержанию могут быть классифицированы на либеральные и коммунитаристские. Эти модели имеют различное ценностно-нормативное содержание, поэтому реализация социальных экологических практик, необходимых для сохранения не-антропогенной природы, также имеет разное мировоззренческое обоснование. Таким образом, можно предположить, что люди, стремясь к «хорошему обществу», поддерживают одни социальные практики и препятствуют распространению других, не соответствующих ценностно-нормативным характеристикам, циркулирующим в социальном воображаемом. Следовательно, содержание и эффективность социальных экологических практик будет зависеть, во-первых, от модели «хорошего общества», во-вторых, от того, какой мировоззренческий базис обеспечивает реализацию этих практик, что движет людьми, когда они, например, уменьшают свой экологический след, увеличивают его или не задумываются о последствиях своей деятельности, отражающихся на состоянии окружающей среды. Ключевыми мировоззренческими основаниями социальных экологических практик являются антропоцентризм, биоцентризм, эоцентризм и трансгуманизм.

Материалы и методы исследования

Основным методом исследования является сравнительный анализ. Его выбор обусловлен тем, что он позволяет сопоставлять различные варианты мировоззренческих базисов, регламентирующих содержание социальных экологических практик в контексте либеральных и коммунитаристских моделей «хорошего общества».

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в научной литературе описаны различные модели «хорошего общества», которые можно по ценностно-нормативным акцентам классифицировать на либеральные и коммунитаристские. При этом необходимо отметить, что существуют модели синтетического плана. Их сложно отнести к тому или иному варианту, например, модель В. Г. Федотовой, основанная на таких параметрах, как стабильность, безопасность и обеспечение возможностей для развития граждан [2]. Однако рассмотрение мировоззренческих оснований социальных экологических практик в рамках синтетических моделей является предметом отдельного исследования.

Первые модели «хорошего общества» носят либеральный характер. Так, в 1937 г. была опубликована книга У. Липпманна «Хорошее общество», в которой он выступил с резкой критикой коллективизма как базовой социальной ценности. Согласно Липпманну, «хорошее общество» – это общество, в котором приоритет имеют индивидуальные права и свободы, свободный рынок и верховенство закона над людьми [3]. Представляется обоснованным предположить, что в описываемой модели приоритетным основанием социальных экологических практик будет антропоцентризм, причем в его жесткой модификации. Антропоцентризм представляет собой такую мировоззренческую позицию, в которой носителем прав и свобод, субъектом и объектом ответственности, «мерой всех вещей» является человек. Природа в этом контексте воспринимается как ресурс для обеспечения потребностей человека и общества. Впрочем, данная модель была сформулирована в 30-е годы прошлого века, когда только начала развиваться социальная экология, а до появления экологической этики оставалось более тридцати лет, следовательно, позитивным социальным экологическим практикам не уделялось должного внимания в масштабах общества.

Остановимся на более новой либеральной модели, предложенной Дж. К. Гэлбрейтом в 1996 г. Согласно Гэлбрейту, «в хорошем обществе все граждане должны иметь персональную свободу, базовое материальное благосостояние, расовое и этническое равенство, возможность прожить стоящую жизнь» [4, с. 4]. В анализируемой модели атрибутивные элементы также имеют антропоцентрический характер. Однако необходимо отметить, что антропоцентризм, особенно в жесткой форме, где человек выступает не заботливым хозяином или управляющим, обязанным охранять вверенные ему природные ценности, а потребителем природных ресурсов, влечет за собой негативные последствия, которые должны быть преодолены и в либеральном «хорошем обществе», разумеется, не в ущерб правам человека. С учетом того, что одно из фундаментальных прав – это право на благоприятную окружающую среду, анализируемая ситуация не содержит противоречия. Например, в «хороших обществах» либерального типа большинством признается антропогенный характер причины глобального потепления. Эмиссия парниковых газов должна быть сокращена, чтобы люди могли в полной мере реализовать свое право на жизнь. Принципиальную важность этот вопрос приобретает в контексте анализа прав будущих поколений. Таким образом, перед обществом встает проблема, связанная с поиском компромисса между экологической устойчивостью и развитием рыночной экономики. С одной стороны, необходимо изменять социальные практики таким образом, чтобы препятствовать глобальным изменениям климата,

но, с другой стороны, негативные последствия глобального потепления проявятся в будущем, а ряд проблем, которые необходимо решить обществу, чтобы соответствовать статусу хорошего, не могут быть отложены на потом (например, противодействие экстремизму и терроризму, борьба с эпидемиями, голодом и др.).

Еще одна либеральная модель «хорошего общества» создается здесь и сейчас в рамках проекта Л. Кенуорти. Он является автором курса «Хорошее общество», который читается им в различных американских университетах. Проект Кенуорти представляет собой электронный ресурс, который постоянно дорабатывается с учетом актуальных изменений социальных реалий и трансформации социального воображаемого. Электронная книга содержит несколько постоянно обновляемых и дополняемых глав, каждая из которых посвящена тому или иному атрибуту, которым, по мнению автора, должно обладать «хорошее общество». Ключевыми атрибутами в модели Кенуорти являются динамичность, открытость, инклюзивность, демократия, экономическая безопасность [5]. Он акцентирует особое внимание на поиске компромиссов, которые должны быть найдены и применены органами управления и институтами гражданского общества в целях того, чтобы общество было хорошим. Только в идеальном обществе возможно достичь всего и сразу. «Хорошее общество» достижимо, поэтому, безусловно, не может удовлетворить все потребности всех своих членов. В «хорошем обществе» позитивные социальные экологические практики неизбежно будут сочетаться с негативными. При этом, в случае если преимущество имеет антропоцентризм, представляется, что позитивные социальные экологические практики (практика «малых дел», уменьшение экологического следа и др.) постоянно будут конфликтовать с иными социальными практиками, носящими антропоцентрический характер. Впрочем, необходимо отметить, что в либеральных моделях «хорошего общества» мировоззренческим основанием социальных экологических практик может выступать не только антропоцентризм, но и биоцентризм.

Под биоцентризмом понимается мировоззренческая позиция, основанная на идее внутренней ценности каждого живого существа. Человек в биоцентрическом мировоззрении – это только один из элементов биоразнообразия. Однако у него особый статус: если нон-антропная природа является объектом ответственности, то человек как единственное рефлекслирующее существо – одновременно и единственный субъект ответственности. Человек отвечает за каждую жизнь, отобранную им у другого живого существа. В отдельных версиях биоцентризма задача человека – не просто оберегать природу и заботиться о ней, как это предусмотрено в мягком антропоцентризме, но и благоговеть перед ней. Так, согласно А. Швейцеру, «поистине нравствен человек только тогда, когда он повинуется внутреннему побуждению помогать любой жизни, которой он может помочь, и удерживается от того, чтобы причинить живому какой-либо вред» [6, с. 307].

Биоцентрические мировоззренческие убеждения, реализуемые в современных либеральных моделях «хорошего общества», вполне могут обеспечивать поддержку большинства позитивных социальных экологических практик при условии, что они не будут вступать в конфликт с персональной свободой как основной либеральной ценностью и не станут противоречить принципу достижимости, без которого «хорошее общество» немислимо. Так, в либеральных версиях «хорошего общества» не может быть популярным и распространенным такой мировоззренческий концепт, как левый биоцентризм, поскольку он носит анархический и антикапиталистический характер. Мы полагаем, что ни экоцентризм, ни трансгуманизм не характерны в качестве мировоззренческих оснований социальных экологических практик в либеральном «хорошем обществе», о чем будет сказано далее.

Принципиальным оппонентом либеральных представлений о «хорошем обществе» выступил А. Этциони. В 2001 г. он опубликовал работу «Будущее: дорога к "хорошему обществу"» [7], в которой раскрыл ключевые аспекты коммунитаристской модели анализируемого варианта социального воображаемого. Ученый полагает, что в «хорошем обществе» должен быть найден разумный баланс между рынком, государством и системой сообществ, так называемым «третьим сектором». При этом и государство, и рынок – только инструменты для поддержания функционирования системы сообществ, которая обеспечивает благо в социальном масштабе. Базовой ценностью в коммунитаристском «хорошем обществе» является особый нормативный механизм регуляции поведения людей – голос морали [8]. При этом индивидуальная автономия и социальный порядок не вступают в конфликт, не ставят людей перед мучительным выбором, когда для того, чтобы получить что-нибудь нужное, необходимо прежде отказаться от чего-нибудь нужного. Достижимость данной модели обеспечивается тем, что в обществе формируются устойчивые социальные связи и достигается единомыслие относительно ключевых ценностно-нормативных параметров общества.

Можно предположить, что в контексте коммунитаристской модели «хорошего общества» с равным успехом могут фигурировать в качестве мировоззренческих оснований социальных экологических практик и антропоцентризм, и биоцентризм, и экоцентризм (но не трансгуманизм). А. Этциони отмеча-

ет, что обязательным атрибутом «хорошего общества» является не только общность ценностей, но и их позитивное содержание. По его мнению, «...если члены общности единодушны в том, что следует линчевать незнакомцев, вторгающихся на их территорию, <...> или в том, что женщины – граждане второго сорта, очевидно, что такой консенсус не делает такие соглашения морально хорошими» [8, с. 94]. С учетом того, что позитивные социальные экологические практики, безусловно, являются хорошими ценностями, любая мировоззренческая позиция, которая будет способствовать их реализации, может претендовать на успех в коммунитаристском «хорошем обществе». С большой долей вероятности можно предположить, что более продуктивными в этом смысле являются биоцентризм и экоцентризм. Антропоцентризм, безусловно, тоже может поддерживать позитивные социальные экологические практики, однако нон-антропные природные объекты воспринимаются как инструментальные ценности. Так, согласно антропоцентрическим представлениям, природу нужно охранять, поскольку она имеет ресурсную, рекреационную, эстетическую значимость для человека.

Биоцентризм в контексте коммунитаристской модели «хорошего общества» вполне может иметь популярность – если не в масштабах всего общества, то в пределах отдельных социальных групп или общностей, которые, по мнению Этциони, и являются элементами общества в целом. Однако популярность биоцентризма в таком обществе зависит от того, как этот мировоззренческий концепт влияет на достижимость общества. Если общество, благоговеющее перед жизнью, принимает черты утопии или теряет такие важные атрибутивные характеристики, как крепость социальных связей или возможность осуществления морального диалога (мегалого), то приоритет будет отдаваться иной мировоззренческой позиции. Но когда обозначенных проблем не возникает, то биоцентризм вполне может обеспечить формирование, распространение и укрепление позитивных социальных экологических практик. Биоцентрический поворот в сознании рядового обывателя способен изменить его повседневные привычки, подвигнуть к отказу от ряда материальных благ в целях сохранения своей жизни, жизни других людей и иных живых существ (отказ от ношения натурального меха, поездок на личном автомобиле с целью сокращения выхлопов, использование пластиковых упаковочных материалов, вегетарианство, веганство и т. п.).

Для последовательного биоцентриста моральным субъектом является не только человек, но и любое живое существо, поэтому в коммунитаристской модели «хорошего общества» социальные связи могут трансформироваться в биосоциальные связи, обеспечивающие воспроизводство позитивных социальных экологических практик.

В еще большей степени представляется актуальным для коммунитаристского «хорошего общества» такая мировоззренческая позиция, как экоцентризм. Последний основан на том, что ценность имеет экосфера в целом и экосистемы как ее элементы. При необходимости сохранения экосистемы, вполне допустимо пожертвование индивидом. А. Этциони считает, что общество состоит не из автономных разрозненных индивидов, а из сообществ, внутри которых формируются тесные социальные связи. Сообщества, взаимодействуя друг с другом, образуют динамичное, но устойчивое «хорошее общество», не исключающее конфликтов и предполагающее возможности исключения тех, кто принципиально игнорирует общепринятые ценности. Основанием для исключения не может быть раса, национальность, пол, возраст, сексуальная ориентация, религиозные, экологические или иные убеждения. Но, например, террористическое или иное преступное сообщество вполне может быть исключено и изолировано посредством применения правовых и моральных санкций. Экоцентризм коррелирует с представлениями ученого о структуре общества. Экосфера также состоит не из индивидуальных организмов, а из экосистем, где элементы живой и неживой природы теснейшим образом взаимодействуют между собой, и нарушение функционирования хотя бы одного элемента влечет к нарушениям в масштабах всей экосистемы.

В коммунитаристском «хорошем обществе» устанавливается приоритет целого над частью, что вполне соответствует ключевым положениям экоцентризма. Вследствие этого представляется перспективным формирование экоцентрического мировоззрения у членов «хорошего общества» коммунитаристского типа. Однако необходимо помнить о том, что превалирование общего интереса над частным не должно принимать радикальных форм, в противном случае управление обществом может принять тоталитарные черты. Так, нельзя принудить человека благоговеть перед жизнью. Это может быть только волевой индивидуальный ответственный выбор. В либеральных моделях «хорошего общества», на наш взгляд, экоцентризм не сможет обеспечить воспроизводство позитивных социальных экологических практик, поскольку он принципиально не сочетается с такими признаками, как персональная свобода и антиколлективизм.

Итак, на данный момент осталась неразрешенной проблема определения перспектив трансгуманизма как мировоззренческого базиса для социальных экологических практик. По нашему мнению, ни для либеральных, ни для коммунитаристских моделей «хорошего общества» трансгуманизм не характерен.

На первый взгляд, это может быть обосновано тем, что трансгуманизм в определенной степени утопичен, в то время как «хорошее общество» достижимо. До настоящего времени не решена проблема бессмертия человека, не найдены способы лечения ряда заболеваний, несовместимых с жизнью, и т. д. Но при более пристальном рассмотрении можно убедиться в том, что трансгуманизм принципиально несовместим с иными атрибутами «хорошего общества».

«Трансгуманистическое мировоззрение строится на предположении о том, что эволюция человека еще не завершена, и на очередном витке развития человечество сможет преодолеть не только старение, но и смерть, то есть выйти за пределы своих психологических и физических возможностей. Трансгуманизм формирует определенное социальное воображаемое, которое является движущей силой деятельности тех людей, которые верят в победу НБИКС-технологий и в качестве своей базовой смыслоложившей ценности видят выход за пределы человеческого» [9, с. 280].

Критические исследования сущности трансгуманизма содержат предположения о том, что одним из последствий реализации трансгуманистических идей станет создание постчеловека и постчеловечества. Спрогнозировать точные характеристики постчеловека крайне сложно, особенно если речь идет о его ценностях и практиках, которые он будет реализовывать. Это связано с тем, что постчеловек с большой долей вероятности будет автономным существом с уникальной сферой потребностей, включая потребность во включении в социум. Так, Н. Бостром отмечает, что «постлюди наверняка придумают совершенно новые формы общественной жизни» [10]. Сверхчеловеческие возможности не могут не отразиться на структуре общества, поэтому можно предположить, что ни одна из существующих версий «хорошего общества» постчеловечеством не будет востребована. Впрочем, большие перспективы развития трансгуманизм будет иметь в либеральных моделях «хорошего общества», где упор делается на автономного индивида, его правах и свободах, а также на его максимальной независимости от государства, общества, социальных институтов. Однако в трансгуманистическом обществе сложно определить границы, за которыми не будет не только «хорошего общества», но и какого-либо еще. Для коммунитаристской версии трансгуманизм не характерен, поскольку для постчеловека, который, вполне вероятно, окажется «по ту сторону добра и зла», вряд ли будут актуальны потребности в крепких социальных связях, в участии в мегалогии, в единомыслии по поводу ключевых ценностно-нормативных оснований бытия. Трансгуманизм основывается на приоритете индивидуальной автономии, а в коммунитаристской модели «хорошего общества» принципиальное значение имеет сохранение баланса между автономией и социальным порядком.

Остается нерешенным вопрос, может ли трансгуманизм в принципе являться мировоззренческим основанием социальных экологических практик. Поскольку прогнозированию состояния постобщества препятствует технологическая сингулярность, дать конкретный ответ представляется практически невозможным. Можно только предположить, что посредством НБИКС-технологий в будущем удастся решить глобальные экологические проблемы современности, а потребность в поддержании позитивных социальных экологических практик сформировать на генетическом уровне, следовательно, отпадет необходимость в формировании экологически ориентированного мировоззрения, особой системы экологического воспитания и образования. Однако на сегодняшний день наши представления о постобществе носят скорее футуристический характер. Современное общество очевидно нуждается в механизмах, способных обеспечить устойчивое и непрерывное расширенное воспроизводство позитивных социальных экологических практик.

Заключение

Итак, «хорошее общество» является актуальной и востребованной версией социального воображаемого, но при этом оно представляет собой форму, которая может быть наполнена разным ценностно-нормативным содержанием. Так, либеральные модели «хорошего общества» ориентированы на индивидуальные права и свободы человека и гражданина, материальное благосостояние, верховенство закона, инклюзию. В то же время коммунитаристские версии социально хорошего основываются на общности ценностей, приоритете моральных нормативных регуляторов над правовыми и балансе между социальным порядком и индивидуальной автономией.

Очевидно, что в современном кризисном мире любая модель «хорошего общества» должна поддерживать мировоззренческие установки и убеждения, обеспечивающие воспроизводство позитивных социальных экологических практик, целью реализации которых является сохранение природы в целом. При этом представляется обоснованной гипотеза о том, что для либеральных моделей «хорошего общества» оптимальным базисом социальных экологических практик является мягкий антропоцентризм, и, с некоторыми допущениями, биоцентризм, в то время как для коммунитаристских моделей в равной степени продуктивными могут быть и антропоцентризм, и биоцентризм, и эоцентризм,

причем эгоцентризм – в большей степени. Трансгуманизм обеспечивает воспроизводство постчеловека и непредсказуемого постобщества, поэтому вряд ли может эффективно поддерживать реализацию позитивных социальных экологических практик в какой-либо из описанных версий «хорошего общества».

Наиболее конструктивным сочетанием мировоззренческой позиции и модели «хорошего общества», на наш взгляд, является следующее: мягкий антропоцентризм в контексте коммунитаристской модели. Это предположение обосновано тем, что антропоцентрическое мировоззрение имеет многовековую историю, коррелирует с экологическими позициями, сформированными институтами мировых религий, характерно для большинства современных людей. При этом антропоцентризм как основание позитивных социальных экологических практик более продуктивен в коммунитаристском обществе, поскольку оно владеет механизмами, способными ограничить антропоцентрические потребности посредством реализации принципа сохранения баланса между индивидуальной автономией и социальным порядком. Таким образом, трансформация социальных связей в биосоциальные и приоритет коллективных интересов над индивидуальными не исключает проявления интереса к биоцентризму и эгоцентризму как продуктивным мировоззренческим позициям, способствующим тому, чтобы в «хорошем обществе» жили не только мы, но и будущие поколения людей и иных живых существ.

Библиографические ссылки

1. Рыбакова М. В. Социальные экологические практики: состояние и система взаимодействия : дис. ... д-ра социол. наук : 22.00.04. М., 2010.
2. Федотова В. Г. Хорошее общество. М., 2005.
3. Lippmann W. An Inquiry into the Principles of the Good Society. Boston, 1938.
4. Galbraith J. K. The Good Society: The Humane Agenda. Boston ; New York, 1997.
5. Kenworthy L. The Good Society. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://lanekenworthy.net/thegoodsociety> (date of access: 27.03.2017).
6. Швейцер А. Культура и этика / пер. с нем. Н. А. Захарченко, Г. В. Колшанского ; общ. ред. проф. В. А. Карпушина. М., 1973.
7. Etzioni A. Next : The Road To The Good Society. New York, 2001.
8. Etzioni A. The Good Society // Seattle J. of Soc. Just. 2002. Vol. 1, issue. 1. P. 83–96.
9. Коваль Е. А. Пределы трансгуманизма или «хорошее общество» для хороших людей // Сахаровские чтения 2017 года : экологические проблемы XXI века : материалы 17-й Междунар. науч. конф., 18–19 мая 2017 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. Минск, 2017. Ч. 1. С. 280–281.
10. Bostrom N. FAQ по трансгуманизму [Электронный ресурс]. URL: <http://alt-future.narod.ru/Future/trans.htm> (дата доступа: 05.03.2017).

References

1. Rybakova M. V. Sotsial'nye ekologicheskie praktiki : sostoyanie i sistema vzaimodeystviya [Social ecological practices : State and the System of interaction] : diss. ... Dr. of Social. Sci. : 22.00.04. Moscow, 2010 (in Russ).
2. Fedotova V. G. Khoroshee obshchestvo [The Good Society]. Moscow, 2005 (in Russ).
3. Lippmann W. An Inquiry into the Principles of the Good Society. Boston, 1938.
4. Galbraith J. K. The Good Society: The Humane Agenda. Boston ; New York, 1997.
5. Kenworthy L. The Good Society. 2017. URL: <http://lanekenworthy.net/thegoodsociety/> (date of access: 27.03.2017).
6. Schweitzer A. Kul'tura i etika [Civilization and Ethics]. Moscow, 1973.
7. Etzioni A. Next : The Road To The Good Society. New York, 2001.
8. Etzioni A. The Good Society. *Seattle J. of Soc. Just.* 2002. Vol. 1, issue. 1. P. 83–96.
9. Koval E. A. Predely transgumanizma ili «khoroshee obshchestvo» dlya khoroshikh lyudey [Limits of transhumanism or «good society» for good people]. *Sakharov Readings 2017: environmental problems of the century*. Minsk, 2017 (in Russ).
10. Bostrom N. FAQ po transgumanizmu [FAQ on transhumanism]. URL: <http://alt-future.narod.ru/Future/trans.htm> (date of access: 05.03.2017).

Статья поступила в редакцию 25.05.2017.
Received by editorial board 25.05.2017.

УДК [502:37]:[378.147+374.7]

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

А. Н. РАХМАНГУЛОВ¹⁾, Н. Н. ОРЕХОВА¹⁾, Н. А. ОСИНЦЕВ¹⁾

¹⁾Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
пр. Ленина, 38, 455000, г. Магнитогорск, Россия

Представлен оригинальный подход к решению проблемы реализации концепции устойчивого развития на основе формирования у людей системного взгляда на среду обитания человека и его влияния на природу в процессе человеческой деятельности. Рассматривается механизм формирования управленческих решений по реализации концепции устойчивого развития на основе логистического подхода и обеспечения баланса интересов и целей в системе «человек – общество – природа». Показано, каким образом использование логистического подхода и рассмотрения процесса устойчивого развития как сложной динамической системы позволяют выявлять критические противоречия между различными аспектами устойчивого развития для последующей выработки методов их устранения. Основу разработанной в статье концепции составляют сформулированные принципы и логистическая модель устойчивого развития, механизм выработки управленческих решений и методы формирования компетентностного подхода к обучению. Предложено использование представленной концепции в качестве основы при создании дистанционных курсов повышения квалификации преподавателей всех уровней образования с целью формирования у обучающихся компетенций в области устойчивого развития.

Ключевые слова: экология; экологическое образование; концепция; устойчивое развитие; повышение квалификации; учителя; преподаватели; школа; колледж; обучающиеся; логистика; модель; компетенции.

THE CONCEPT OF DEVELOPING COMPETENCES SYSTEM IN THE FIELD OF SUISTANBLE DEVELOPMENT

A. N. RAKHMANGULOV^a, N. N. OREKHOVA^a, N. A. OSINTSEV^a

^aNosov Magnitogorsk State Technical University,
Lenin avenue, 38, 455000, Magnitogorsk, Russia

Corresponding author: ran@magtu.ru

The original approach is proposed to addressing the problem of realizing the concept of sustainable development based on forming the systemic view in humans on the human environment and its impact on nature during anthropogenic activities.

Образец цитирования:

Рахмангулов А. Н., Орехова Н. Н., Осинцев Н. А. Концепция системы формирования компетенций в области устойчивого развития // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 11–19.

For citation:

Rakhmangulov A. N., Orekhova N. N., Osintsev N. A. The concept of developing competences system in the field of sustainable development. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 11–19 (in Russ.).

Авторы:

Александр Нельевич Рахмангулов – доктор технических наук; профессор кафедры логистики и управления транспортными системами.

Наталья Николаевна Орехова – доктор технических наук; профессор кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых.

Никита Анатольевич Осинцев – кандидат технических наук; доцент кафедры логистики и управления транспортными системами.

Authors:

Aleksandr N. Rakhmangulov, doctor of science (engineering); professor of logistics and transportation systems management department.

ran@magtu.ru

Natalya N. Orekhova, doctor of science (engineering); professor of geology, mine surveying, and minerals processing department.

n_orehova@mail.ru

Nikita A. Osintsev, PhD (engineering); associate professor of logistics and transportation systems management department.

osintsev@magtu.ru

The mechanism for implementation management decisions on implementing the concept of sustainable development based on logistics approach and to ensure a balance of interests and goals in the system «human – society – nature» is presented. It's shown, how the application of logistics approach and consideration of sustainable development approach as the complex dynamic system allow for the identification of critical contradictions between different aspects of sustainable development for subsequent development of methods of its elimination. The basis of developed concept in the present paper consists of the formulated principles and the logistic model of sustainable development, a mechanism for implementation management decisions and methods of forming the competent approach to the study. The application of proposed concept as the basis for establishing distance courses of advanced training for teachers at all levels of education in order to form the competencies in students in the field of sustainable development.

Key words: ecology; ecological education; concept; sustainable development; professional development; teachers; schools; colleges; students; logistics; model; competences.

Введение

Представления об устойчивом развитии, сформулированные в конце XX столетия, были следствием особого внимания экологов, экономистов и политиков к кризисному состоянию биосферы и стихийно развивающимся процессам глобализации мирового сообщества, усиливающим политическую нестабильность в странах третьего мира. За последние сто лет мировое потребление энергии увеличилось в четырнадцать раз, суммарное потребление первичных энергоресурсов превысило 400 млрд т, объем производства автомобилей приблизился к 50 млн единиц в год [1]. По данным Всемирного института ресурсов [2], в период с 2000 по 2014 год только двадцать стран, среди которых Франция, Германия, Великобритания и США, достигли снижения показателей уровня выбросов парниковых газов при одновременном росте валового внутреннего продукта (ВВП). Этого недостаточно для достижения стратегических целей Парижского соглашения по борьбе с глобальным изменением климата – удержание прироста глобальной средней температуры к концу XXI в. в пределах 2°C сверх доиндустриальных показателей и ограничение роста температуры до 1,5°C [3].

Результаты глобальной оценки соотношения уровня экологической нагрузки на окружающую среду и ее способности к самовосстановлению показывают, что уже на рубеже 60–70-х годов прошлого столетия человечество перешагнуло «дозволенную границу». Сегодня оскудение и деградация природных ландшафтов, загрязнение воздушного и водного бассейнов, истощение недр, городской шум, многочисленные полигоны твердых бытовых отходов – явления не локальные, а носящие глобальный характер. Подорвано равновесие между биосферными и техносферными процессами, что чревато необратимыми и пагубными для жизни на планете последствиями. Современное общество живет в состоянии новой реальности – реальности техногенеза, в которой техногенная ментальность вытесняет понимание необходимости сохранения здоровой среды обитания человека, а технический прогресс рассматривается как средство повышения комфортности жизни, где понятие комфорта подменяется понятием производственной и потребительской возможности.

Прогресс должен пониматься, прежде всего, как повышение экологической безопасности процессов при направленности их на ресурсосбережение и получение более качественных продуктов, необходимых для нормального, биологически комфортного существования человека.

Будущие периоды существования человечества должны сопровождаться разумной экологической нагрузкой на биосферу, не превышающей ее восстановительную способность. Выработка конкретных решений по обеспечению «разумной экологической нагрузки» в настоящее время затруднена из-за противоречивости целей и задач различных областей человеческой деятельности, несогласованности действий в области устойчивого развития как отдельных организаций, так и целых стран. Необходим единый, согласованный подход к формированию управленческих решений по реализации концепции устойчивого развития, общепризнанная методология, основанная на балансе интересов и целей в экономике, экологии, а также в социальной и культурной средах.

Реализация такого подхода требует от общества значительных усилий по изменению мировоззрения и выработке «экологического этикета» – каждый, не задумываясь, должен делать так, как необходимо для сохранения баланса в системе «человек – общество – природа».

Подобная задача не решается без соответствующей нормативной и законодательной базы, но не решается и с наличием таковой без соответствующего уровня образования в обществе. Следование принципам устойчивого развития предполагает определенный образ жизни, включающий экономию, бережливость и экологически обоснованную деятельность, глобальное экологическое мышление, и связанный с этим прагматизм – выстраивание системы поступков и взглядов на жизнь в аспекте получения практически полезных результатов без ущерба для жизни будущих поколений. Современному

человеку, чтобы следовать такому образу жизни на всем ее протяжении, необходимо обладать соответствующими компетенциями. Под компетенциями понимается совокупность знаний, опыта, умений и подготовленность к их использованию. Таким образом, с позиции устойчивого развития компетентность следует определить как способность обновлять знания, обобщать, систематизировать получаемые сведения с целью постановки актуальных задач, поиска и нахождения их эффективного решения в изменяющихся условиях. Компетентность связана с обладанием широкими познаниями и опытом решения, а компетенции в большинстве случаев не формируются для различных областей знаний в отдельности, а в комплексе, на протяжении длительного времени, посредством циклов, состоящих из периодов ознакомления, осмысления, обобщения, фиксации знаний, умений и навыков.

Материалы и методы исследования

В конце 80-х гг. в международную терминологию вошло понятие «sustainable development», близкое к понятию «экоразвития», обычно переводимое на русский язык как «устойчивое развитие». В докладе «Наше общее будущее» [4] было дано следующее определение устойчивого развития: «развитие, которое удовлетворяло бы нужды настоящего, не подвергая риску способность будущих поколений удовлетворять свои потребности». Иными словами, сохранению подлежат рост возможностей удовлетворять потребности как в настоящее время, так и в будущем, а изменению – эксплуатация ресурсов, технологическое совершенствование и качество управления [5; 6].

В основу всех существующих моделей устойчивого развития положено достижение разумного баланса между экологическим, экономическим, культурным и социальным развитием и потребностями людей [7]. Однако до сих пор нет полного понимания механизма достижения такого баланса. Одни авторы подчеркивают важность сохранения функциональности природы и окружающей среды, другие делают упор на социальные аспекты и политические институты или на стабильный экономический рост в обществе. До сих пор в научном обществе ведутся дискуссии о том, что такое «устойчивость» и «устойчивое развитие», а многообразие принципов и подходов к достижению устойчивости свидетельствует как о сложности самих понятий, так и о сложности объекта исследования.

Как показывает анализ, основными недостатками известных моделей устойчивого развития являются [8]:

- статичность и недостаточный акцент на динамике процесса развития;
- фрагментарность связей между аспектами устойчивого развития (экологией, экономикой и обществом);
- сложность с учетом разнообразных ограничений и противоречивых целей.

Следствием указанных недостатков является нарушение баланса между аспектами устойчивого развития и приоритетность достижения экономических целей, по сравнению с экологическими и социально-культурными. Особую актуальность это приобретает в хозяйственной деятельности промышленных, торговых, транспортных организаций, которые функционируют в сложной, динамично развивающейся рыночной среде, и побочным результатом деятельности которых является негативное воздействие на окружающую среду.

По мнению авторов настоящей статьи, использование процессного (логистического) подхода к решению проблемы устойчивого развития и рассмотрение взаимодействия аспектов устойчивого развития как динамической системы позволяет учитывать следующие особенности процесса выработки и реализации управленческих решений [9]:

- разделение задачи управления на этапы;
- выбор приоритетов и очередности реализации этапов;
- адаптация к динамике аспектов устойчивого развития;
- универсальность методов управления;
- представление различных сфер человеческой деятельности в виде совокупности универсальных логистических потоков: материального, потока услуг, информационного, финансового;
- стандартизация функций по управлению логистическими потоками при помощи двух основных элементов логистической системы: накопительного (замедление и накопление потоков); транспортного (ускорение и продвижение потоков).

Механизм формирования управленческих решений в логистической системе (ЛС) основан на анализе случаев разбалансированности функционирования логистических элементов по пропуску и переработке логистических потоков (рис. 1). Периодически возникающие случаи дефицита или избытка по всем логистическим потокам являются источником информации для принятия решений по устранению таких несоответствий. Эффективная реализации данного механизма предполагает его использование на всех уровнях управления: базовом, соответствующем экологическому аспекту, технологическом –

соответствующему экономической системе; организационном – соответствующем социальной системе; управленческом – соответствующем культурной среде.

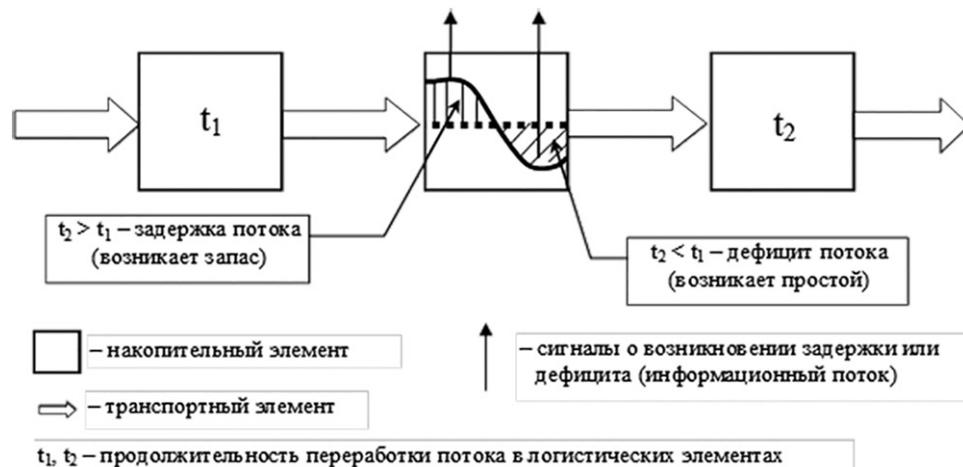


Рис. 1. Механизм формирования информационных потоков в логистической системе

Fig. 1. Information flow generation in logistics system

Логистическая модель устойчивого развития

В работах [7; 10] предложена логистическая модель устойчивого развития, отражающая динамику этого процесса, а также позволяющая выявлять критические противоречия между различными аспектами устойчивого развития с целью выработки методов их устранения [12]. В основу модели положены следующие основные принципы [11–13]:

- обоснованность и целенаправленность изменений по устойчивому развитию на основе мониторинга критических мест, возникающих по всем логистическим потокам;
- взаимосвязь и последовательность решений в области устойчивого развития, последовательность которых образует информационный поток;
- иерархичность аспектов устойчивого развития: экология → экономика → социум → культура (решения в области снижении вредного воздействия на окружающую среду должны быть экономически эффективными, в рамках соблюдения национального и международного законодательства, определять состав и изменения компетенций людей);
- системность использования решений по устойчивому развитию в соответствии с уровнями иерархии аспектов устойчивого развития: экологическом (методы оптимизации экологического воздействия), экономическом (методы реструктуризации связей и взаимоотношений), социальном (изменение принципов функционирования) и культурном (методы целеполагания).

В качестве объектов, составляющих информационный поток решений в области устойчивого развития, предлагается выделять следующие типы управленческих решений (рис. 2):

- оптимизация параметров элементов логистической системы («о»);
- улучшение конструкции логистической системы («к»);
- изменение принципов организации функционирования системы («п»);
- изменение целей логистической системы («с»).

Переход с уровня оптимизационных решений «о» на реализацию решений по изменению конструкции системы происходит в результате снижения эффективности оптимизационных решений из-за повышения динамики перерабатываемых логистических потоков. Такое снижение эффективности будем называть барьером эффективности. Аналогичным образом реализуется переход на следующие уровни более эффективных решений по изменению принципов и целей функционирования системы. Однако в результате реализации каждого решения более высокого уровня необходимо «перенастраивать» систему путем реализации цепочки решений всех нижестоящих уровней. Например, в результате усложнения конструкции системы расширяются возможности оптимизации по реализации более эффективных решений, что делает необходимым выработку последовательности оптимизационной цепочки решений до очередного момента снижения их эффективности. После этого возникает необходимость принятия очередного решения по изменению конструкции системы – к. 2 и т. д.



Рис. 2. Схема последовательности реализации управленческих решений в области устойчивого развития

Fig. 2. Consistency of managerial decision making for sustainable development

Реализация предложенного механизма выработки системных решений в области устойчивого развития требует от лиц, принимающих решения, понимания взаимосвязанности этих решений в непрерывном управляющем информационном потоке, а также знаний, умений и навыков по формированию этого потока. Таким образом, основной принцип, на котором должно строиться обучение в рамках концепции устойчивого развития, заключается в системности изучаемого материала.

Концепция системы непрерывного образования для устойчивого развития

Максимальный уровень компетентности позволяет человеку быстро и качественно обобщать наблюдаемые факты и явления, а также безболезненно реорганизовывать имеющуюся систему знаний при появлении новых теорий и концепций. Процесс непрерывного образования должен обеспечивать качественный прирост новых знаний и умений, способов мышления и деятельности [14]. Идея непрерывного образования сегодня в Евросоюзе приняла два концепта – «образование в течение жизни» (Lifelong learning) и «образование шириною в жизнь» (Lifewide learning) [15; 16]. «Образование в течение жизни» включает обязательное базовое образование, формальное, то есть признанное образование, повышение квалификации и обновление знаний для улучшения качества и производительности труда. «Образование шириною в жизнь» акцентирует не только постоянство процесса, но и разнообразие его форм. Оно включает формальное и неформальное образование.

В процессе формального образования обучающийся получает первичный низкий уровень компетентности (рис. 3), который характеризуется различной степенью обладания конкретными знаниями, умениями и навыками. Основное на данном этапе – формирование первичных компетенций, то есть формирование у человека с самых ранних лет потребности в изучении и сохранении вокруг себя здоровой природной среды, формирование умения воспринимать природу как сущность нашей жизни, а себя как органичную часть Природы. Здесь начальный (2-й) уровень обобщения конкретных знаний задействован слабо. Новые факты и явления запоминаются и служат основой формирования рефлексивного поведения.

Средний уровень компетентности обучающийся получает в колледже и далее на уровне бакалавриата, где формируются базовые понятия и умение проследить общие взаимосвязи между деятельностью человека и поведением окружающей среды в целом и применительно к конкретной области человеческой деятельности. В результате человек становится способен применять индуктивные методы согласования конкретных знаний, что ведет к формированию более высокого уровня обобщения, формируется понимание сути конкретных явлений. Однако индуктивные методы принципиально не пригодны для получения верного общего представления о сущности наблюдаемых явлений [17; 18].

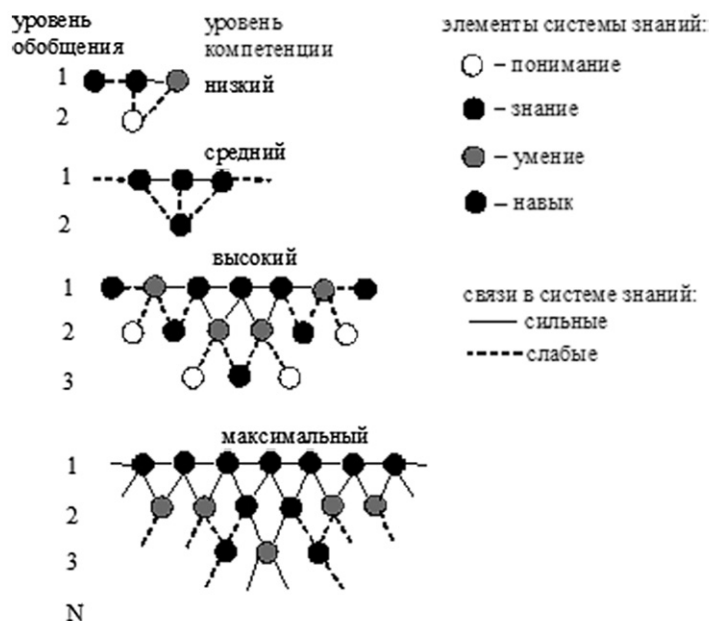


Рис. 3. Схемы формирования уровней компетентности

Fig. 3. Levels of competence development

Неполная индукция, применяемая для получения выводов при изучении, например, последствий экологических катастроф, в подавляющем большинстве случаев носит интуитивный характер, когда сам процесс вывода не является полным смысле логическим. В результате формируется система знаний, в которой новые явления или теории плохо согласуются с индивидуальной системой знаний человека. Такая система «неустойчива» и склонна к разрушению. «Остановка» обучающегося на 2-ом уровне формирования компетенций неизбежно ведет в дальнейшем к «откату» на более низкий уровень компетентности, поскольку постепенное разрушение «неустойчивой» системы знаний приводит к потере жизненных ориентиров, деформации мировоззрения, либо способствует превращению системы знаний в «косную», ортодоксальную систему.

Следующий, высокий уровень компетенций приобретается на второй и третьей ступенях высшего образования в магистратуре и аспирантуре. Система знаний, сформированная, как правило, в результате качественного, но классического образования, основанного на запоминании множества фактов, является «гибкой», но «пассивной». На данном уровне наиболее важным является формирование навыка систематизации поступающей информации и ее согласования с имеющейся многоуровневой системой знаний. Без этого навыка со временем произойдет снижение уровня его компетентности, и такое знание не может гарантировать планомерную и последовательную реализацию управленческих решений в области устойчивого развития.

Следует отметить, что сегодня и в России меняется логика развития карьеры от линейной на нелинейную, предполагающая неоднократную смену в течение жизни сферы деятельности, профессии или специальности [19]. В таких условиях нормой становится получение второго и третьего высших образований, а также прохождение различных курсов повышения квалификации. Однако сформированные таким образом компетенции низкого, среднего и высокого уровней не создают целостной и вместе с тем развивающейся системы, поскольку не связаны глобальной сетью «основного» знания или не имеют некоего «связующего звена», то есть компетентность не достигает максимального уровня.

Максимальный уровень компетентности характеризуется навыком быстрого и качественного обобщения явлений, новых теорий и концепций для реструктуризации имеющейся системы знаний, что достигается использованием дедуктивных методов познания. Именно такой уровень компетентности необходим для реализации концепции устойчивого развития, когда требуется прогнозировать динамику экологической и социально-экономической среды.

Формирование системы компетенций для устойчивого развития может происходить на основе глубокого экологического образования, получение которого сегодня просматривается в концепции «Образование шириною в жизнь». При этом экологическое образование должно носить всеобъемлющий и непрерывный характер: от выработки у ребенка рефлекса, например, выбрасывания конфетной обертки

в мусорный бак, до систематического повышения квалификации руководителей предприятий, министерств и ведомств в области оценки воздействия на окружающую среду и ее охраны.

Учитывая то, что в современных условиях всеобъемлющей информатизации и развития дистанционного образования, когда образование перестает быть процессом трансляции знаний в традиционном виде через преподавателя в классе, а акцент перемещается на умение учиться и на самостоятельное освоение знаний – задачей учителя, в том числе как разработчика материалов онлайн-обучения, является выработка потребности поиска знаний и формирование мировоззрения, позволяющего воспринимать, обобщать и анализировать информацию через призму экологической опасности явлений и процессов.

«Образование шириною в жизнь» предполагает использование разнообразных методик и форм обучения, в основе которых лежит стимулирование активных действий обучаемых. Наибольшую группу методик эффективного формирования компетенций образуют методики, основанные на методе деловой игры или мозгового штурма. В рамках деловой игры обучающиеся могут играть назначенные роли, как, например, в методе «шесть шляп мышления» [20], или находить решения для конкретных ситуаций (ситуационный подход).

Современные возможности дистанционного обучения в плане стимулирования групповых активных действий ограничены. Однако достоинствами такой формы обучения является повышение ответственности самого обучающегося, его активности, инициативность, формирование навыков самоорганизации, управления временными ресурсами [21].

Такой подход требует прежде всего достаточного количества грамотных трансляторов экологического знания, роль которых в современном обществе выполняют педагоги дошкольного, среднего специального, высшего и дополнительного образования. Именно у них, в первую очередь, должна сложиться высокоуровневая система профессиональных компетенций, позволяющих реализовать основные принципы обучения для устойчивого развития:

- системность изучаемого материала, основанная на выстраивании устойчивых связей между теориями, явлениями, фактами, событиями;
- стимулирование активности и мотивации обучающихся на основе современных методов и методик обучения (деловые игры, проблемное обучение и т. п.);
- развитие ответственности и навыков самоорганизации (технология «перевернутый класс») [22; 23].

Человек, достигший максимального уровня компетентности, осознает себя как гармоничную часть природы, правильно оценивает свою деятельность с позиции презумпции экологической опасности, а значит и с позиции обеспечения устойчивого развития, может действовать самостоятельно и брать на себя ответственность за свои действия.

Заключение

Предложенный механизм реализации концепции устойчивого развития, основанный на логистическом представлении процесса формирования управленческих решений, требует от лиц, принимающих решения, системного взгляда на совокупность «человек – общество – природа». Использование логистического подхода и рассмотрение процесса устойчивого развития как сложной динамической системы позволяют выявлять критические противоречия между различными аспектами устойчивого развития с целью выработки методов их устранения. Представленная в статье логистическая модель устойчивого развития, с одной стороны, находит все более широкое применение в практике хозяйственной деятельности промышленных и транспортных предприятий, что связано с ее универсальностью и относительной концептуальной простотой. С другой – выработка конкретных управленческих решений, выбор момента перехода между уровнями сложности этих решений и, главное, навык согласования решений разного уровня требует как от руководителей, так и от исполнителей особых компетенций, основанных на системном взгляде на происходящие события и явления.

Основным отличием представленной в статье концепции формирования компетенций в области устойчивого развития от существующих подходов является использование системного, а не модульного (автономного) подхода к построению изучаемого материала. Реализация такого, более сложного, с точки зрения освоения материала, подхода требует активного использования преподавателями методов стимулирования активности и мотивации обучающихся, а также интенсивного развития у них ответственности и навыков самоорганизации. Авторы статьи считают, что для достижения целей устойчивого развития необходимо, в первую очередь, выстраивать систему повышения квалификации преподавателей всех уровней обучения, результатом которой станет системное внедрение в преподаваемые дисциплины материала экологической, экономической и социальной направленности, а также расширение практики использования современных методов обучения.

Использование предлагаемой концепции в качестве основы создания дистанционных курсов повышения квалификации преподавателей позволит сформировать у обучающихся компетенции в области устойчивого развития, а также популяризировать эту концепцию в различных сферах деятельности.

Библиографический ссылки

1. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Устойчивое развитие: вводный курс. М., 2006.
2. Reducing Carbon Emissions While Growing GDP. URL: <http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp> (date of access: 17.03.2017).
3. Conference of the Parties - Twenty-first session. Paris, 30.11-11.12.2015. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (date of access: 23.04.2017).
4. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (date of access: 19.05.2017).
5. Устойчивое экономическое развитие в условиях глобализации и экономики знаний: концептуальные основы теории и практики управления / под ред. В. В. Попкова. М., 2007.
6. Ускова Т. В. Управление устойчивым развитием региона. Вологда, 2009.
7. Рахмангулов А. Н., Орехова Н. Н., Осинцев Н. А. Концепция системы повышения квалификации преподавателей в области экологического образования на основе логистической модели устойчивого развития // Современ. пробл. транспорт. комплекса России. 2016. Т. 7, № 1. С. 4–18.
8. Образование для перемен: пособие для преподавания и изучения устойчивого развития / под ред. Г. Ютвик, И. Лиепина. Уппсала, 2010. URL: http://www.balticuniv.uu.se/index.php/component/docman/doc_download/208-education-for-change-handbook-russian (дата обращения: 19.04.2017).
9. Данилов-Данильян В. И. Устойчивое развитие (теоретико-методологический анализ) // Экономика и математ. методы. 2003. Т. 39, № 2. С. 123–135.
10. Рахмангулов А. Н., Орехова Н. Н., Осинцев Н. А. Концепция непрерывного повышения квалификации педагогов в области экологического образования // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века : материалы 17-й Междунар. науч. конф. Минск, 2017.
11. Гавришнев С. Е., Рахмангулов А. Н. и др. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы. Магнитогорск, 2002.
12. Корнилов С. Н., Рахмангулов А. Н., Шаульскийкий Б. Ф. Основы логистики: учебное пособие. М., 2016.
13. An approach to achieving the sustainable development goals based on the system of green logistics methods and instruments / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, D. Muravev // Transport Problems – 2017. Proceeding VI International Scientific Conference. 2017.
14. Скворцов В. Н. Система непрерывного образования университета: принципы, функции и перспективы её развития // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития. Санкт-Петербург, 2015. С. 15–20.
15. Сажёнов Е. С. О разработке концепции непрерывного образования: основания и принципы // Высшее образование в России. 2011. № 2. С. 93–98.
16. Tuijnman A., Boström A. K. Changing notions of lifelong education and lifelong learning // International Review of Education. 2002. Vol. 48, № 1. P. 93–10.
17. Дойч Д. Структура реальности. М.; Ижевск, 2001.
18. Эволюционная эпистемология и логика социальных наук: Карл Поппер и его критики / сост. Д. Г. Лахути, В. Н. Садовского и В. К. Финна. М., 2000.
19. Дусь Т. Э. Философские основания развития непрерывного профессионального образования // Омск. научн. вестн. 2014. № 1 (125). С. 150–153.
20. Де Боно Э. Шесть шляп мышления. Санкт-Петербург, 1997.
21. Ищенко А. «Перевернутый класс» – инновационная модель обучения. URL: http://www.ug.ru/method_article/876 (дата обращения: 03.05.2017).
22. Long, T., Cummins, J. & Waugh, M. Use of the flipped classroom instructional model in higher education: instructors' perspectives // J. of Comput. in High. Educ. 2016. URL: http://www.researchgate.net/publication/306045365_Use_of_the_flipped_classroom_instructional_model_in_higher_education_instructors%27_perspectives (date of access: 09.04.2017).
23. Nouri J. The flipped classroom: for active, effective and increased learning – especially for low achievers // Int. J. Educ. Technol. in High. Educ. 2016. № 1(13). P. 13–33.

References

1. Mirkin B. M., Naumova L. G. Sustainable Development: propaedeutics. Moscow : University Book. 2006 (in Russ).
2. Reducing Carbon Emissions While Growing GDP. URL: <http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp> (date of access: 17.03.2017)
3. Conference of the Parties - Twenty-first session. Paris, 30.11–11.12.2015. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (date of access: 23.04.2017).
4. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (date of access: 19.05.2016).
5. Popkov V. V. (ed.). Sustainable economic development in the context of globalization and the knowledge economy: fundamentals of theory and practice management. Moscow, 2007 (in Russ.).
6. Uskova T. V. Managing sustainable development in the region: monograph. Vologda, 2009 (in Russ.).

7. Rakhmangulov A. N., Orekhova N. N., Osintsev N. A. The concept of a system for advanced training teachers in the field of the ecological education on the basis of logistics model of sustainable development. *Modern Probl. of Russ. Transp. Compl.* 2016, Vol. 7, No. 1. P. 4–18. (in Russ.).
8. Jutvik G., Liepin I. (ed.). Education for changes: handbook for teaching and studying the sustainable development. Uppsala, 2010.
9. Danilov-Danilyan V. I. Sustainable development (theoretical and methodological analysis). *Econ. and mathem. methods.* 2003, Vol. 39, No. 2. P. 123–135. (in Russ.).
10. Rakhmangulov A. N., Orekhova N. N., Osintsev N. A. The concept of continuous improvement in teachers' qualification in the field of environmental education. *Sakharov Readings 2017: environmental problems of the XXI century.* Minsk, 2017.
11. Gavrishev S. E., Rakhmangulov A. N., et. al. Managing the development of the mining enterprise. Information models and methods. Magnitogorsk, 2002.
12. Kornilov S. N., Rakhmangulov A. N., Shaulsky B. F. Fundamentals of Logistics. Moscow, 2016 (in Russ.).
13. Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., et. al. An approach to achieving the sustainable development goals based on the system of green logistics methods and instruments. *Transport Problems – 2017.* Proceeding VI International Scientific Conference. 2017.
14. Skvortsov V. N. The continuous education system of the university: principles, functions, and its prospects for development. *Lifelong learning Proceedings of 13 International Conference.* 2015. P. 15–20 (in Russ.).
15. Szhenov E. S. The concept of lifelong learning in modern Russia. *High. Educ. in Russ.* 2011. No. 2. P. 93–98 (in Russ.).
16. Tuijnman A., Bostrum A. K. Changing notions of lifelong education and lifelong learning. *Int. Rev. of Educ.* 2002. Vol. 48, No. 1. P. 93–110.
17. Deutsch D. The Fabric of Reality. Moscow ; Izhevsk, 2001 (in Russ.).
18. Lakhuti D. G., Sadovsky V. N., Finn V. K. Evolutionary epistemology and logics of social science: Karl Popper and his critics (compilers). Moscow, 2000.
19. Dus T. E. Philosophical foundations of development continuing professional education. *Omsk Sci. Bull.*, 2014. No. 1 (125). P. 150–153.
20. De Bono E. Six Thinking Hats. Saint-Petersburg, 1997 (in Russ.).
21. Ishenko A. The flipped classroom – innovative model of education. URL: http://www.ug.ru/method_article/876 (date of access: 03.05.2017).
22. Long T., Cummins J., Waugh M. Use of the flipped classroom instructional model in higher education: instructors' perspectives. *J. of Comp. in High. Educ.* 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/306045365_Use_of_the_flipped_classroom_instructional_model_in_higher_education_instructors%27_perspectives. (date of access: 09.04.2017).
23. Nouri J. The flipped classroom: for active, effective and increased learning – especially for low achievers. *Int. J. of Educ. Technol. in High. Educ.* 2016. No. 1(13). P. 13–33.

Статья поступила в редколлегию 26.05.2017
Received by editorial board 26.05.2017

ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ

Т. В. ШЕРШНЁВА¹⁾, И. И. ДРОЗДОВ²⁾

¹⁾*Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь*

²⁾*Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь*

Рассматривается проблема зависимости от виртуальной реальности. Последние два десятилетия обусловлены достаточно быстрым ростом развития виртуальных технологий, из-за чего появился новый вид зависимости – зависимость от виртуальной реальности. Были показаны и проанализированы главные факторы возникновения виртуальной аддикции и раскрыты основные социально-психологические признаки, которые могут выступать в качестве факторов возникновения аддиктивного поведения. Проводится сравнение зависимости от виртуальной реальности в связи с использованием психоактивных веществ.

Ключевые слова: зависимость; виртуальная реальность; факторы развития.

FACTORS OF DEVELOPMENT OF DEPENDENCE ON VIRTUAL ENVIRONMENT

T. V. SHERSHNIOVA^a, I. I. DROZDOV^b

^a*Belarusian National Technical University,
Nezavisimosti avenue, 65, 220013, Minsk, Belarus*

^b*Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

Corresponding author: shershniova_t@mail.ru

This article reviews the problem of dependence on virtual reality. The last two decades are due to a fairly rapid growth in the development of virtual technologies, which made a new type of dependence – dependence on virtual reality. The main factors of virtual addiction emergence were shown and analyzed. Also, the main socio-psychological signs that can be represented as factors of the occurrence of addictive behavior were analyzed and disclosed. Finally, we have made a comparison between the dependence on virtual reality and the dependence on psychoactive substances.

Key words: dependence; virtual reality; development factors.

Образец цитирования:

Шершнёва Т. В., Дроздов И. И. Факторы развития зависимости от виртуальной среды // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 20–30.

For citation:

Shershniova T. V., Drozdov I. I. Factors of development of dependence on virtual environment. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 20–30 (in Russ.).

Авторы:

Татьяна Викторовна Шершнёва – кандидат психологических наук, доцент; заведующий кафедрой психологии.
Игорь Игоревич Дроздов – магистрант кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Authors:

Tatiana V. Shershniova, PhD (psychology), associate professor; head of the department of psychology.
shershniova_t@mail.ru
Igor I. Drozdov, master's degree student of the chair of environmental medicine and radiobiology.
gosha.drozdov.94@gmail.com

Введение

В последние годы благодаря развитию и повсеместному внедрению технологий мультимедиа широкое распространение получили исследования в области создания специальных эффектов, способных оказывать целенаправленное воздействие на органы чувств человека [1]. Органы чувств являются тем механизмом, с помощью которого формируется опыт человека, его представления, знания об окружающей среде и самом себе. Иными словами, органы чувств являются инструментом построения образа повседневной реальности. Адекватность этого образа определяется тем, насколько хорошо он соответствует действительности, критерием чего может служить успешность или неуспешность адаптации человека к внешнему миру. Реальность – это то, что реально существует и обнаруживается благодаря воздействию на органы чувств [2].

Бурное развитие компьютерных технологий и необычайно быстрое внедрение их в повседневную жизнь активизирует процессы биопсихической перестройки личности в связке «человек–компьютер», проявляющиеся новой психопатологической симптоматикой. Именно связка «человек–компьютер» порождает явление, называемое компьютерной виртуальной реальностью. Зависимостью от компьютерной виртуальной реальности можно назвать чрезмерное, доминирующее в жизни увлечение компьютером или игровой приставкой, используемое для ухода от реальности и ведущее к деформации или качественным изменениям социальных, профессиональных, материальных и семейных ценностей. В современной аддиктологии зависимость от компьютера и компьютерных технологий выделена уже достаточно давно, но до настоящего времени она относилась к подвиду игровой зависимости или к подвиду зависимости отношений [3]. Однако на современном этапе технического развития мы уже не можем утверждать, что виртуальная реальность принадлежит больше к игровой среде, чем повседневной, поскольку дополненная или виртуальная реальность сегодня широко используется не только в играх, но и в процессе обучения, в научно-исследовательской деятельности, в медицине, для решения различных технических, инженерных задач, проектирования и конструирования реальных объектов и т. п.

Исследование деятельности человека, опосредствованной взаимодействием с компьютерами и другими элементами информационных технологий, представляет собой одну из самых актуальных задач для современной науки. Особое место в ряду мультимедийных средств занимают интернет и компьютерные игры, изучению влияния которых на личность в отечественной психологии не уделено достаточного внимания. На территории постсоветского пространства, проблема интернет-зависимости начала изучаться только в последнее десятилетие.

В психологической литературе аддиктивное (зависимое) поведение рассматривается как поведение, связанное с психологической или физической зависимостью от употребления какого-либо вещества или от специфической активности, с целью изменения психического состояния [4]. Среди его признаков первостепенное значение имеет формирование аддиктивной установки – совокупности когнитивных, эмоциональных и поведенческих особенностей, вызывающих аддиктивное отношение к жизни. Внешне она выражается в появлении сверхценного эмоционального отношения к объекту аддикции и усилении таких механизмов психологической защиты, как рационализация – интеллектуальное оправдание аддикции; парциальная перцепция – восприятие только той информации, которая выгодна, способствует снижению критичности к негативным последствиям аддиктивного поведения и аддиктивному окружению; отрицание – нежелание аддикта признавать свою зависимость. Аддиктивное поведение является защитным механизмом ухода от реальности, освобождающим личность на некоторое время от эмоциональной напряженности и тревоги.

Лавинообразный рост объемов интернет-контента и количества интернет-пользователей во всем мире в настоящее время делает чрезвычайно актуальной проблему интернет-зависимости. Современного человека окружают тысячи объектов, несущих в себе информацию: реклама, телевидение, радио, интернет-источники, литература, сами люди и т. д. Информация задействует все наши сенсорные системы, не давая шанса на «тишину». По словам ученых, человечество на сегодняшний момент накопило около 295 эксабайт информации, это равно $259 \cdot 10^9$ гигабайт. Эксперты из Сан-Диего выяснили, что человек потребляет 34 гигабайта аудиовизуальной информации в день [5]. Создается виртуальный мир без границ. Возникает сетевое общество, которое создано сетями производства, власти и опыта, которые образуют культуру виртуальности в глобальных потоках, пересекающих время и пространство [6].

Все больше пользователей ежедневно подключаются ко «Всемирной паутине», посредством использования различных интернет-ресурсов решают множество задач, в том числе вопросы трудоустройства, поиска новой информации, установления новых социальных контактов, при этом данный вид общения часто не включает в себя эмоционально-чувственную и нравственную сферы. При виртуальных взаимодействиях, особенно без использования аудио- и видеоканалов связи, значительная часть

информации не воспринимается, что приводит к затруднениям в формировании или утрате навыков межличностного взаимодействия. Невозможно не признать положительные моменты интернета, но необходимо указать и на негативную сторону использования ресурсов глобальной сети: в связи с возрастающей компьютеризацией и интернетизацией мирового сообщества стала актуальной проблема патологического использования ресурсов интернета человеком. Все больше людей предпочитают уходить с головой в виртуальный мир, не желая противостоять жизненным трудностям, выстраивать отношения с окружающим миром и обществом. Заключившись на каких-либо видах деятельности в интернете, они получают субъективно приятные эмоции, которые помогают «убежать» им от реального мира или которые они могут испытать, находясь в интернете. Данная проблема имеет широкий научный резонанс в работах зарубежных авторов. До последнего времени она имела особую актуальность для США и Китая, но по мере повышения уровня развития интернет-технологий и их доступности для широкого круга пользователей и в Беларуси мы также столкнулись с проблемой интернет-зависимости, которая может крайне деструктивно повлиять на все сферы жизни человека, нанося наибольший ущерб сфере межличностных отношений.

Термин «интернет-аддикция» еще в 1996 г. предложил доктор А. Голдберг для описания неоправданно долгого, возможно патологического, пребывания в интернете [7]. Интернет-зависимость можно определить как нехимическую зависимость от пользования интернетом, характеризующуюся стремлением ухода от реальности путем достижения особого эмоционального состояния удовлетворенности, уверенности в себе, которого иным путем человек достичь, в силу различных причин, не может. В основе интернет-зависимости – навязчивая потребность личности в использовании интернета, сопровождающаяся социальной дезадаптацией и выраженными психологическими симптомами. К. Янг приводит симптомы интернет-зависимости: 1) навязчивое желание проверить e-mail; 2) постоянное ожидание следующего выхода в интернет; 3) жалобы окружающих на то, что человек проводит слишком много времени в интернет; 4) жалобы окружающих на то, что человек тратит слишком много денег на интернет [8]. Появляется ряд психологических и физических симптомов, тесно связанных между собой. К психологическим симптомам относятся: 1) хорошее самочувствие или эйфория за компьютером; 2) невозможность остановиться; 3) увеличение количества времени, проводимого за компьютером; 4) пренебрежение семьей, друзьями; 5) ощущения пустоты, депрессии, раздражения не за компьютером; 6) ложь работодателям или членам семьи о своей деятельности; 7) проблемы с работой, учебой. Среди физических симптомов выделяется: 1) «туннельный синдром»; 2) сухость в глазах; 3) головные боли; 4) боли в спине; 5) нерегулярное питание, пропуск приемов пищи; 6) пренебрежение личной гигиеной; 7) расстройства сна, изменение режима сна.

По данным различных исследований, интернет-зависимыми сегодня являются около 10 % пользователей во всем мире. К. Янг были выделены основные разновидности интернет-аддикции:

- 1) киберсексуальная. Зависимость от интерактивных комнат общения для «взрослых» или от киберпорнографии;
- 2) киберотношения. Зависимость от дружеских отношений, завязанных в комнатах общения, интерактивных играх и конференциях, которая заменяет реальных друзей и семью;
- 3) чрезмерная сетевая вовлеченность. Включает в себя вовлечение в азартные сетевые игры, зависимость от интерактивных аукционов и навязчивое состояние торговли через сеть;
- 4) информационная перегрузка. Чрезмерная вовлеченность в посещение вебсайтов и поиск по базам данных;
- 5) компьютерная зависимость. Навязчивые состояния в компьютерных играх или в программировании, в основном данная разновидность интернет-аддикции распространена среди детей и подростков [8].

Зависимость от интернета приводит к изменению поведения: человек пытается искусственным путем изменить свое психическое состояние, и это дает ему ложное чувство безопасности. Данный тип зависимого поведения представляет собой серьезную опасность для здоровья как физического, так и психического, и самого аддикта, и тех, кто его окружает. Интернет-зависимое поведение – одна из форм деструктивного поведения, которая выражается в стремлении к уходу от реальности путем постоянной фиксации внимания на определенных видах деятельности, что сопровождается сильными эмоциями. Этот процесс настолько захватывает человека, что начинает управлять его жизнью. Человек становится беспомощным перед своим пристрастием. Волевые усилия ослабевают и не дают возможности противостоять зависимости. Причина зависимого поведения чаще всего состоит в том, что оно является путем наименьшего сопротивления. Складывается субъективное впечатление, что таким образом можно уйти от своих проблем, не думать о тревогах, избежать трудных ситуаций.

Разрушительный характер зависимости заключается в следующем: способ аддиктивного поведения из средства постепенно превращается в цель. Периодически отвлечься от жизненных трудностей необходимо всем, но в случае аддиктивного поведения оно становится образом жизни, в процессе которого человек попадает в ловушку постоянного ухода от реальности, со временем начиная терять свое «Я-реальное» и обретать свое «Я-виртуальное».

Аддиктивная реализация заменяет дружбу, любовь, другие виды активности. Она отнимает время, силы, энергию, эмоции, деньги, в конце концов. Человек теряет способность поддерживать равновесие в жизни, включаться в различные формы активности, получать удовольствие от общения с людьми, отдыхать, развиваться как личность, проявлять симпатии, оказывать эмоциональную поддержку даже наиболее близким людям. В результате у аддикта возникают трудности в общении и взаимодействии с другими людьми. Вместе с дисфункциональными процессами в общении нарушаются, искажаются и теряют ценность такие значимые механизмы межличностной перцепции, как идентификация, эмпатия и рефлексия. Следовательно, утрачивается способность ставить себя на место партнера, сопереживать, представлять, каким воспринимают тебя окружающие. Наибольшая предрасположенность к возникновению интернет-зависимости наблюдается у людей, имеющих трудности в межличностном общении. В интернете за счет анонимности, доступности и ощущения безопасности человек может формировать доверительные отношения с малознакомыми людьми, не опасаясь негативных последствий, ведь в случае неудачи всегда есть возможность просто отключиться от интернета или уйти на другой ресурс. В виртуальной реальности не имеют значения такие характеристики социального статуса, как внешний вид, возраст, пол, род деятельности и др. Интернет позволяет формировать новую идентичность, создавать новый образ и осуществлять нереализованные потребности личности. Перед человеком открывается новый мир бесчисленного количества возможностей и интересов, который «отключает» его от реальности, «переключая» на себя, что ведет к ограничению социальных контактов, ухудшению психологического состояния, возбуждению внутренних раздражителей, возникновению агрессии, замкнутости, апатии, потере социального статуса, разрушению собственного «Я» и, как следствие, приводит к деструкциям личности в целом.

На сегодняшний день около 40 % аудитории интернета составляет молодежь, при этом отмечается, что количество молодежи среди интернет-пользователей растет быстрее, чем количество представителей других возрастных групп. По мнению некоторых исследователей, молодежь имеет специфические социальные и психологические черты, наличие которых определяется как возрастными особенностями молодых людей, так и тем, что их социально-экономическое и общественно-политическое положение, духовный мир находятся в состоянии становления, формирования. В связи с этим именно данная категория предрасположена к возникновению различных видов зависимости, в том числе интернет-зависимости. Как правило, такую предрасположенность имеют молодые люди, у которых наблюдаются интровертированные черты характера: сосредоточенность на собственном внутреннем мире, трудности в установлении социальных контактов с окружающими, ориентация на собственный внутренний мир – чувства, мысли, переживания и т. д.

Основной предпосылкой развития интернет-зависимости у молодежи, как утверждает часть ученых, является неполное разрешение кризиса встречи со взрослостью, что проявляется в развитии кризиса идентичности с возникновением конфликта между самоидентичностью личности и предлагаемыми социальными ролями и сменяется кризисом интимности с формированием психологической изоляции [9]. Интернет-среда привлекательна для разрешения данного кризиса за счет возможности конструирования в ней желаемой реальности. Для большей части молодых людей интернет является неотъемлемой частью жизни. Это обусловлено рядом некоторых причин, среди которых основными являются: 1) использование интернета в целях учебной деятельности; 2) доступность и разнообразие ресурсов интернета; 3) познавательная мотивация студентов; 4) потребность студентов в общении, развлечении; 5) наличие определенных психологических проблем у студентов.

Развитие любого вида аддикций ведет к искажению нормального развития личности и к постепенному формированию аддиктивной личности, в функционировании которой заложено саморазрушение. Причем, чем моложе аддикт, тем быстрее происходят с ним эти изменения, так как незрелая личность быстрее подвергается воздействию аддиктивного агента по сравнению с личностью с уже сформированным «Я». Кроме того, для молодежи (17–25 лет) в целом характерны следующие психолого-педагогические особенности: проблема выбора жизненных ценностей; присвоение социально значимых свойств личности; развитие способности к сопереживанию, к активному нравственному отношению к людям, к самому себе и к природе; развитие саморефлексии, то есть самопознания в виде размышлений над собственными переживаниями, ощущениями и мыслями; проблема смысла

жизни; появление жизненных планов; поиск профессии; освобождение от непосредственной зависимости тесного круга значимых лиц.

В 2017 г. наблюдается резкий скачок развития виртуальной реальности в повседневной жизни, чему способствуют научно-технические достижения последних лет. Следовательно, растет и процент зависимых от виртуальной реальности. Результаты многочисленных исследований данного явления обусловили расширение первоначального подхода к определению аддиктивного поведения как совокупности поступков, сопровождающих химическую зависимость. Это позволило отнести к аддиктивным различные формы поведения, основывающиеся на зависимости от вещества, занятия или взаимодействия.

Интернет-зависимость обладает некоторыми характеристиками уже известных и изученных аддикций:

- пренебрежение важными вещами в жизни из-за аддиктивного поведения;
- разрушение отношений аддикта со значимыми людьми;
- раздражение или разочарование значимых для аддикта людей;
- скрытность или раздражительность, когда люди критикуют это поведение;
- чувство вины или беспокойства относительно этого поведения;
- безуспешные попытки бороться с аддиктивным поведением.

Некоторый интерес представляет описание поведенческих характеристик, предложенное А. Е. Войскунским [7]. Можно согласиться со следующими из них:

- готовность лгать друзьям и членам семьи, преуменьшая длительность и частоту работы в интернете;
- стремление и способность освободиться на время работы в интернете от ранее возникнувших чувств вины или беспомощности, от состояний тревоги или депрессии, обретение ощущения эмоционального подъема и своеобразной эйфории;
- готовность мириться с разрушением семьи, потерей друзей и круга общения из-за поглощенности работой в интернете.

Однако, несмотря на внешнюю схожесть интернет-зависимости с другими видами аддикций, ее возникновение не подчиняется закономерностям формирования других зависимостей: если для формирования традиционных видов зависимости требуются годы, то для интернет-зависимости этот срок резко сокращается. Так, в ходе опросов, проводимых К. Янг, было выявлено, что 25 % интернет-зависимых личностей приобрели данный вид зависимости в течение полугода после начала работы в интернете, 58 % – в течение второго полугодия, а 17 % – через год [8].

Изучение данной проблемы в литературе отечественных и зарубежных авторов дает основание полагать, что в зависимости от мотивации, целей и условий деятельности интернет может быть использован для ухода в некий виртуальный мир, в котором трудности и проблемы реального мира отсутствуют. И это может привести к формированию виртуальной личности. Согласно многим исследованиям, формирование виртуальной личности выступает как компенсация недостатков реальной социализации. Такая виртуальная личность может существовать как «для себя», осуществляя идеал «Я» или, наоборот, реализуя деструктивные тенденции пользователя, так и «для других», с целью произвести определенное впечатление на окружающих [10].

В особенностях «виртуальных личностей» могут отражаться отличительные черты, связанные с протеканием процессов самоопределения, самоверификации, изменения структуры идентичности человека, выражающие тенденцию к множественности идентичности. Следствием этого является характерное для интернет-зависимости отрицательное влияние на профессиональную, социальную, психологическую и физическую стороны жизни человека, которое, как и при иных видах зависимого поведения, долго не осознаются аддиктом. Зачастую интернет-зависимость – это следствие гиперкомпенсации внутриличностных проблем. В первую очередь, это эмоциональная нестабильность, ведомость, низкий самоконтроль, робость, сдержанность. Следовательно, интернет-зависимость является одним из способов аддиктивной реализации, характерной для лиц, имеющих личностные особенности, такие как замкнутость, тревожность, напряженность, истероидный или сенситивный тип акцентуации характера, способствующие формированию собственно аддиктивной личности. Неспособность противостоять жизненным трудностям, сопровождающаяся низкой самооценкой, плохая переносимость жизненных трудностей, неуверенность в себе – важные факторы, формирующие зависимое поведение. В данном случае уход в виртуальную среду служит средством самозащиты от чувства боли, унижения, плохого настроения, то есть юноша или девушка выбирает негативные копинг-стратегии, а именно: бегство-избегание, конфронтация, дистанцирование, что свидетельствует о выраженной дезадаптации личности.

Проведенные исследования в области виртуальной аддикции позволяют условно выделить следующие уровни виртуальной аддикции [11].

1. Высокий уровень виртуальной аддикции. В данной группе испытуемых были выявлены следующие особенности: выраженная общая тенденция к зависимости, а также высокие показатели, свидетельствующие о сформированности виртуальной аддикции: время нахождения в игре – от 3–4 до 6 часов и более каждый день; переживание положительных эмоций во время нахождения в игре – эйфория, радость, азарт; невозможность расслабиться вне игрового поведения, ощущение пустоты, скуки и раздражения. Яркая выраженность эмоций в игре (положительных) и вне игры (отрицательных) говорит о высокой значимости игровой деятельности для аддиктов и использования игры как способа ухода от отрицательных эмоциональных состояний. У аддиктов проявляются характерные устойчивые негативные психические состояния (тревожность, депрессия, недовольство окружающими и собой), связанные с заниженной самооценкой, низким уровнем аутосимпатии, самоуважения, самоинтереса, самопринятия. Наряду с высоким уровнем тревожности, виртуальным аддиктам свойственны более выраженные проявления агрессивности и фрустрированности, чем у респондентов группы нормы. На данном уровне у испытуемых отмечается эмоциональная незрелость, выражающаяся в неумении проявлять и принимать свои негативные эмоции. Отмечено, что респонденты этой группы склонны к более частому использованию непродуктивных эмоциональных (эмоциональная разрядка, подавление эмоций, покорность, самообвинение, агрессивность) и когнитивных (растерянность, смирение) копинг-стратегий, что может быть обусловлено сниженным общим уровнем саморегуляции, ригидностью поведения, эмоциональной незрелостью и низкой самооценкой. Наиболее значимыми мотивами игры являются возможность общения и получение информации. Это может свидетельствовать о затруднениях в удовлетворении потребности в общении аддиктами в реальных, не опосредованных компьютером, отношениях с окружающими, а также о поверхностном характере межличностных контактов, низком уровне контактности, одиночестве. Виртуальные аддикты выбирают игру как наиболее приемлемый, легкий путь самоутверждения. В данной группе проявлено наличие симбиотических отношений в семье, что является признаком нарушения личностных границ, зависимости от мнений и оценок окружающих, несамостоятельности. В группе аддиктов отмечены также некоторые физические симптомы ухудшения здоровья (бессонница, беспокойный сон, боли в спине и т. д.), что свидетельствует об их пренебрежительном отношении к своему здоровью.

2. Средний уровень виртуальной аддикции. Во вторую группу (группу риска) вошли испытуемые, имеющие предрасположенность к возникновению виртуальной аддикции. Количество времени, проводимого в игре, в среднем несколько ниже, чем в группе аддиктов: от 3–4 раз до 7 раз в неделю по 2–4 и более часов. Группа аддиктов и группа риска имеют сходные негативные эмоциональные состояния, проявляющиеся вне игры: пустота, недовольство окружающими, недовольство собой. Для группы риска наиболее характерными мотивами предпочтения компьютерных игр являются: собственно игра, общение, получение информации. Необходимо отметить, что для респондентов данной группы игровая деятельность – это способ расслабления, являясь, по существу, способом саморегуляции дискомфортного состояния, но не используется ими как способ самоутверждения. Особенности эмоциональной сферы группы риска являются проявление таких эмоций, как облегчение в процессе игры и ощущение дискомфорта вне игры, что отличает их от группы нормы. В сравнении с нормой, респонденты группы риска более часто проявляют заниженную самооценку, недовольство окружающими и собой, что указывает на преобладание непродуктивных эмоциональных стереотипов поведения и сближает их с аддиктами. Но, в отличие от группы зависимых от виртуальной реальности, для данной группы характерно более частое использование продуктивного когнитивного копинга (проблемный анализ). Тревожность и фрустрированность достаточно выражены, но нет существенных отличий в проявлении агрессии и ригидности, по сравнению как с группой нормы, так и с группой аддиктов.

3. Низкий уровень виртуальной аддикции. Данную группу составили респонденты, имеющие низкие показатели виртуальной аддикции и испытуемые, не играющие в компьютерные игры. Большинство респондентов данной группы играют в компьютерные игры редко (1–2 часа в день, раз в неделю) либо не играют вообще (5,6 % от общего количества испытуемых, 19 % от количества респондентов группы нормы), не сталкиваются с эмоциональными и физическими проблемами из-за увлечения компьютером. Наиболее значимыми мотивами в игре являются общение и сам процесс игры. Необходимо отметить, что 69 % респондентов группы нормы не испытывает никаких отрицательных эмоций или состояний вне игрового поведения, что говорит о невысокой значимости данного вида деятельности в жизни испытуемых. Для респондентов данной группы более характерна адекватная самооценка, низкая самооценка не проявилась. Отсутствие нарушения личностных границ в семье говорит о сформированности собственных границ «Я», внутреннего локуса контроля. По показателям тревожности, фрустрации, ригидности данная группа приближена к группе риска, но показатели агрессии значительно ниже, чем в двух других группах. По сравнению с группой аддиктов, в группе нормы отмечаются

значимые отличия в использовании продуктивного копинга – для совладания с трудными ситуациями они чаще применяют продуктивные эмоциональные (опимизм) и когнитивные (проблемный анализ) копинг-стратегии. Общий уровень саморегуляции у испытуемых данной группы выше, что проявляется в высоких показателях планирования, программирования (осознанность постановки целей, продумывание предстоящих действий, способов и последовательности их осуществления), пластичности регуляторных процессов и независимости от мнения и оценок окружающих в организации своей деятельности.

Далее необходимо отметить ряд социально-психологических признаков, которые могут выступать в качестве факторов, влияющих на формирование зависимости от виртуальной реальности [12]:

1. Общий показатель социально-психологической адаптации: взаимосвязь носит обратный характер, то есть чем хуже человек умеет приспосабливаться к окружающей реальности, тем, соответственно, ниже будет его уровень социально-психологической адаптации, и тем выше будет вероятность развития интернет-аддикции.

2. Самопринятие: этот показатель также имеет обратную взаимосвязь с интернет-зависимостью. Чем меньше человек принимает себя, тем выше будет уровень зависимости. Неудовлетворенность собой тут выступает не в качестве источника развития, а как причина ухода от взаимодействия с окружающими, в страхе получить их неодобрение.

3. Интернальность: чем выше показатель интернальности, тем выше будет показатель интернет-зависимости. При высоком уровне интернальности, источник контроля поведения не внешний, внутренний. При этом человек отдает себе отчет в том, что он делает, однако не считает внешние факторы как стимул изменения поведения.

4. Эскапизм: чем выше уровень эскапизма, тем выше уровень зависимости от виртуальной среды. Такая стратегия поведения, как избегание, напрямую связана с развитием интернет-аддикции. Человек сбегает в виртуальный мир, где уровень его социальной навыков в полной мере устраивает его. Когда подобная стратегия становится привычной формой поведения, человек не только отказывается от реализации собственных интересов, но и затрудняет реализацию интересов взаимодействующих с ним людьми. Социальные связи распадаются, осложняя социально-психологическую адаптацию. При негативной динамике возникает риск личностной деформации.

5. Принятие других: чем меньше человек принимает других, тем выше будет уровень интернет-аддикции. В большей степени это связано с проекцией качеств, который воспринимаются как нежелательные, вытесняемые из сознания, на другого человека. Нетерпимость к другим сказывается на коммуникативной гибкости, повышается уровень конфликтности.

6. Эмоциональная комфортность: чем более комфортно в эмоциональном плане ощущает себя человек, тем ниже уровень интернет-зависимости наблюдается.

7. Лабильность: чем выше показатель лабильности, тем ниже показатель интернет-зависимости. Это связано с тем, что люди с высокой лабильностью отличаются изменчивым настроением, и часто показывают черты демонстративного поведения, стремясь к привлечению внимания окружающих. Виртуальная реальность не может удовлетворить такие потребности в полной мере.

8. Ригидность: это обратный показатель лабильности. Люди с высоким показателем ригидности характеризуются сочетанием субъективизма интроверта с инертностью установок и настойчивостью личности, склонной к педантизму и высокой настороженностью и подозрительностью.

9. Сенситивность: люди с высоким показателем сенситивности демонстрируют высокие показатели комфортности, чувствительности, что указывает на черты зависимости от социального окружения. Люди с высоким уровнем интернет-зависимости слабо ориентируются на мнение и интересы людей, которые их окружают. Принадлежность к какой-либо группе не является для них какой-либо ценностью. Соблюдаются только те групповые нормы, которые полностью соответствуют их интересам. Виртуальная реальность является идеальной средой для нахождения групп с общими интересами, и при неудовлетворенности какой-либо из них аддикт может запросто перейти в другую, более подходящую.

10. Агрессивность: чем выше показатель агрессивности, тем выше показатель зависимости от виртуальной реальности. При высоких значениях этого показателя у человека часто отмечается эгоцентризм, а также склонность к агрессивной манере самоутверждения вопреки интересам окружающих. Существование в сети гарантирует проявление этих качеств без риска социального порицания или санкций.

11. Тревога: при умеренных показателях тревожности человек лишь проявляет осторожность в принятии решений. При высоких же прослеживается избыточная тревожность, боязливость, мнительность, склонность к навязчивым страхам, что и становится причиной ухода в виртуальную реальность, где эти признаки практически исчезают.

Таким образом можно выделить основные особенности человека, зависимого от виртуальной реальности. Для него будет характерна низкая социально-психологическая адаптация, низкий уровень принятия себя и других людей, низкий показатель эмоциональной комфортности, пониженная лабильность, но повышенная ригидность, с инертностью личностных установок. Также будет отмечена низкая сенситивность, отсутствие интереса к мнению групп окружающих людей, что будет дополнено эгоцентризмом с манерой агрессивной манерой самовыражения вразрез интересам окружающих. Это дополнено высокой тревожностью, страхом неприятия в обществе. Как следствие – эскапизм, нежелание решать актуальные проблемы, уход в сферу виртуальной реальности как компенсаторный механизм коммуникативной недостаточности.

Обычно у аддиктов выявляется также предрасположенность в виде минимальной церебральной дисфункции (церебральная предрасположенность). Взаимодействие с компьютером или игровой приставкой быстро приобретает характер замещающе-компенсаторного и гедонически-мотивированного поведения. Нарастание признаков зависимости проявляется психическим, а затем и психофизическим дискомфортом, в большей степени эмоциональным, вне общения с компьютером или игровой приставкой и восстановлением комфорта при начале (или чаще предвкушении начала) взаимодействия с ними [8].

Многие из этих признаков дают основание теоретически провести аналогию зависимости от виртуальной реальности с вещественной зависимостью, названной в западной литературе *substance use disorder*, что делает эту проблему еще более серьезной. Прежде всего хочется отметить такие признаки, как эйфория при использовании предмета зависимости, желание увеличивать время взаимодействия с предметом зависимости, а также появление чувства раздражения, гневливости, либо угнетения, пустоты, депрессии при отсутствии контакта с предметом зависимости [13]. Это основные свойства, которые связывают зависимость от виртуальной реальности с зависимостью от психоактивных веществ. Причиной этого, на наш взгляд, стал общий биологический механизм возникновения этих зависимостей.

В формировании удовольствия и зависимости участвует прилежащее ядро (рис.). Это группа нейронов в вентральной части полосатого тела является важной частью мезолимбического пути. Также оно отвечает за формирование смеха, агрессии, страха и эффекта плацебо. Особую роль также оно занимает в системе вознаграждений.

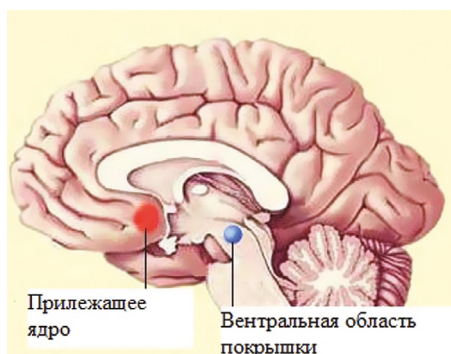


Рис. Расположение прилежащего ядра

Fig. The location of nucleus accumbens

Прилежащее ядро является частью мезолимбического пути дофаминергической системы мозга. В свою очередь, мезолимбический путь играет существенную роль в механизмах памяти, эмоций, обучения и нейроэндокринной регуляции. Прилежащее ядро получает информацию от дофаминовых нейронов вентральной зоны и глутаминовых нейронов префронтальной коры, миндалин и гиппокампа. Здесь происходит анализ сенсорной и эмоциональной информации и формирование поведенческой реакции-ответа на мотивирующие раздражители.

Основным действующим веществом этой системы является нейромедиатор дофамин. Он является одним из химических факторов внутреннего подкрепления (ФВП) и служит важной частью «системы вознаграждения» мозга, поскольку вызывает чувство удовольствия (или удовлетворения), чем влияет на процессы мотивации и обучения. Дофамин естественным образом вырабатывается в больших количествах во время положительного, по субъективному представлению человека, опыта. Дофамин играет немаловажную роль в обеспечении когнитивной деятельности. Активация дофаминергической передачи необходима при процессах переключения внимания человека с одного этапа когнитивной деятельности на другой. Таким образом, недостаточность дофаминергической передачи приводит к повышенной инертности больного, которая клинически проявляется замедленностью когнитивных процессов

(брадифрения). Если человек продолжает перестимулировать свою «систему поощрения», постепенно мозг адаптируется к искусственно повышаемому уровню дофамина, производя меньше гормона и снижая количество рецепторов в «системе поощрения».

Дофамин участвует в формировании и закреплении условных рефлексов при положительном подкреплении и в их гашении, если подкрепление прекращается. Другими словами, если наше ожидание награды оправдывается, мозг сообщает нам об этом выработкой дофамина. Если же награда не последовала, снижение уровня дофамина сигнализирует, что модель разошлась с реальностью. То есть при взаимодействии с виртуальной реальностью субъект получает удовольствие – работает дофаминергическая система. Когда же контакт с виртуальной реальностью обрывается, то наблюдается обратная реакция – нехватка дофамина, затем, как следствие, угнетенное, депрессивное состояние. Более важным является то, что дофаминергические подсистемы находятся под контролем или сами контролируют норадренергические, серотонинергические, ГАМК-ергические, холинергические, мелатонинергические и другие не менее важные системы. ГАМК-ергические и серотонинергические системы находятся в антагонистических отношениях с дофаминергической системой, а норадренергическая и дофаминергическая системы в различных функциональных состояниях функционируют однонаправленно как в период бодрствования, так и в период сна.

Аддикт, не получая «вознаграждения», чувствует психологический дискомфорт, поэтому, чем больше он отсутствует в пределах виртуальной реальности, тем больше растет напряжение и желание туда погрузиться. При продолжительной аддикции возможно нарушение систем, с которыми неразрывно связана дофаминергическая система мозга. Особенно важным в этом плане является гамма-аминомасляная кислота (ГАМК). Установлено, что ГАМК является основным нейромедиатором, участвующим в процессах центрального торможения. Под его влиянием активируются также энергетические процессы мозга, повышается дыхательная активность тканей, улучшается утилизация мозгом глюкозы, улучшается кровоснабжение. Нарушение работы этого нейромедиатора приводит к тому, что человек либо слишком вялый, апатичный, невнимательный, рассеянный и т. д., так как тормозящие процессы преобладают над возбуждающими. Либо второй, более вероятный вариант – когда у человека наблюдаются частые неврозы, из-за того, что мозгу недостает ГАМК [14].

Ацетилхолин, основное действующее вещество холинергической системы, которое оказывает возбуждающее или тормозящее действие в зависимости от типа ткани и природы рецептора, на который он воздействует, а также от концентрации. В малых концентрациях он облегчает синаптическую передачу сигнала, в больших – замедляет. Он участвует в стимуляции скелетной мускулатуры, в частности сознательном сокращении и расслаблении мышечных волокон. Также этот нейромедиатор участвует в развитии механизмов памяти и мышления. Нарушение его работы вследствие нарушения работы дофаминергической системы и ГАМК-ергической системы выражаются в серьезных нарушениях памяти, а также в различных двигательных расстройствах.

При прогрессирующей виртуальной аддикции человек перестает следить за временем, которое он проводит возле компьютера, поэтому нарушается работа таких систем как серотонин- и мелатонинергическая. Серотонин является тормозящим нейротрансмиттером, участвующим в регуляции настроения, чувства тревоги, либидо, навязчивости, головных болей, температуры тела, расстройств аппетита, социальных расстройств, фобий, сна, памяти и процессов обучения, сердечно-сосудистой функции, сокращения мышц, а также эндокринной регуляции. Однако обычно серотонин оказывает различное действие. Он играет большую роль в регуляции сна и настроения, соответствующее количество циркулирующего серотонина способствуют расслаблению. Стресс уменьшает его количество, поскольку организм использует запасы для успокоения. Низкий уровень серотонина может привести к депрессивному настроению, беспокойству, низкой энергичности, мигрени, расстройствам сна, навязчивым или маниакальным состояниям, чувству напряжения и раздражения, тяге к сладкому или потере аппетита, ухудшению памяти и концентрации внимания, рассерженному и агрессивному поведению, замедленному движению мышц, замедленной речи, изменению времени засыпания и пробуждения [15].

Мелатонин также является довольно важным веществом в нашем организме. Он регулирует деятельность эндокринной системы, кровяное давление и циркадные ритмы; уменьшает эмоциональную, интеллектуальную и физическую активность; регулирует сезонную ритмику у многих животных; замедляет рост и половое развитие у детей; уменьшает поступление кальция в кости; снижает скорость остановки кровотечения; повышает образование антител и усиливает эффективность функционирования иммунной системы; замедляет процессы старения; обладает антиоксидантными свойствами; влияет на процессы адаптации при быстрой смене часовых поясов. Кроме того, мелатонин участвует в регуляции функций пищеварительного тракта и работы клеток головного мозга, поэтому нарушение обмена серотонина в организме приводит к серьезным физиологическим изменениям.

Одной из последних весомых доказательств связи зависимости от виртуальной реальности с зависимостью от психоактивных веществ, стало исследование, которое показало, что пользование интернетом может вызвать физиологические изменения в организме человека. В исследовании принимали участие 144 мужчин и женщин в возрасте от 18 до 33 лет. В среднем участники, по их словам, проводили в сети около пяти часов в день, при этом у 20 % из них продолжительность дневного пребывания в интернете превышала шесть часов. Свыше 40 % участников признали, что у них в той или иной степени имеется интернет-зависимость, в течение дня они слишком много времени проводят в сети и им трудно перестать это делать. Чтобы проверить, как сеть влияет на состояние участников, исследователи измеряли у них частоту сердцебиения и уровень кровяного давления до и после коротких интернет-сессий. Кроме того, участники проходили психологическое тестирование на уровень тревожности.

Оказалось, что те, кто сами себя назвали интернет-зависимыми, испытывали сразу после прекращения сессии повышенную тревожность и, как следствие, физиологическое возбуждение. У них на 3–4 %, а в некоторых случаях на 6–8 % учащался пульс и повышалось давление по сравнению с показателями, измеренными до начала сессии. У тех участников, которые не испытывали проблем с интернетом, таких изменений не наблюдалось. Хотя обнаруженный эффект сравнительно слабый и не угрожает жизни и здоровью, в его основе лежит гормональный дисбаланс, который может ослаблять иммунную систему [14; 15].

Было отмечено, что физиологические и психические реакции у интернет-зависимых очень напоминают «синдром отмены», наблюдающийся у наркоманов и алкоголиков. Чтобы снять напряжение и успокоиться, интернет-зависимым необходимо снова воссоединиться с предметом своей навязчивой страсти — со своим смартфоном или ноутбуком [16].

Таким образом, можно сделать следующие выводы: зависимость от виртуальной реальности рискует стать довольно серьезным психологическим заболеванием в нынешнее время в силу множественной детерминации ее развития. В некоторых странах Европы людей с установленным диагнозом зависимости от виртуальной реальности (Internet addiction disorder) не допускают к работе, а также назначают специализированный курс лечения. Вопрос зависимости от компьютерных технологий и виртуальной реальности стоит сейчас чрезвычайно остро, так как большинство людей, попавших под ее влияние, — это подростки и молодые люди.

Принимая во внимание прогнозы темпов роста распространенности интернета по всему миру, рост удельного веса молодежи среди его пользователей, формирование зависимости от виртуальной среды у многих из них в первые полгода после начала работы в интернете, можно заключить, что изучение влияния интернет-зависимости на личностные характеристики современной молодежи является актуальной проблемой психологии. Изучение данной проблемы позволит разработать профилактическую и психокоррекционную программу, а также тактику медикаментозного лечения для предупреждения физиологических изменений и изменений личности интернет-зависимых пользователей.

Библиографические ссылки

1. Андреева Г. М., Богомолова Н. Н., Петровская Л. А. Современная когнитивная психология на Западе. Теоретические ориентации. М., 1978.
2. Змановская Е. В. Девиантология. М., 2003.
3. Малкина-Пых И. Г. Возрастные кризисы : справ. практ. психолога. М., 2005.
4. Войскуновский А. Е. Интернет – новая область исследований в психологической науке // Уч. записки каф. общ. психол. МГУ. М., 2002. Вып. 1. С 82–101.
5. Янг К. Диагноз – Интернет-зависимость // Мир Интернет. 2000. № 2. С. 24–29.
6. Официальный веб-сайт Калифорнийского университета [Электронный ресурс]. Информационный портал США. Сан Диего, 2017. URL: <http://ucsdnews.ucsd.edu> (дата обращения: 05.06.2017).
7. Кастельс М. Информационная эпоха. Экономика, общество и культура : пер. с англ. М., 2000.
8. Донцов А. И., Емельянова Т. П. Концепция социальных представлений в современной французской социальной психологии. М., 1987. 223 с.
9. Брунер Дж. Психология познания. М., 2008.
10. Самойлик А. А. Интернет-зависимость – актуальная проблема современного общества // Вестн. Череповецк. гос. ун-та. 2013. № 2. Т. 2. С. 126–128.
11. Баксанский О. Е. Виртуальная реальность и виртуализация реальности. М., 2006.
12. Шаталина М. А. Анализ факторов, влияющих на формирование интернет-аддикции // Вестн. КГУ им. Н. А. Некрасова. 2009. Т. 15. С. 188–192.
13. Дубровина О. В. Психологические особенности личности с виртуальной аддикцией // Сиб. пед. журнал. 2009. № 10. С. 333–341.
14. Колотилова О. И., Корнеюк И. И., Хусаинов Д. Р. и др. Дофаминергическая система мозга // Вестн. Брянск. гос. ун-та. 2011, № 3. С. 11–17.

15. Старшенбаум Г. В. Аддиктология. Психология и психотерапия зависимостей. М., 2017. 262 с.
16. Differential physiological changes following internet exposure in higher and lower problematic internet users. PLOS is a non-profit 501(c)(3) corporation, #C2354500, and is based in San Francisco, California, US. URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0178480> (date of access: 07.06.2017).

References

1. Andreeva G. M., Bogomolova N. N., Petrovskaya L. A. Modern cognitive psychology in the West. Theoretical orientations. Moscow, 1978 (in Russ.).
2. Zmanovskaya E. V. Deviantology. Moscow, 2003 (in Russ.).
3. Malkina-Pykh I. G. Age Crises: Reference of Practical Psychologist. Moscow, 2005 (in Russ.).
4. Voiskounsky A. E. Internet as a new research area in psychology. *Acad. notes of the General psychol. department, Moscow State University*. Moscow, 2002, issue 1. P. 82–101 (in Russ.).
5. Young K. Diagnosis – internet addiction. *Mir Internet*. 2000. No. 2. P. 24–29 (in Russ.).
6. Californian University official website. Electronic resource. US information portal. San Diego, 2017. URL: <http://ucsdnews.ucsd.edu> (date of access: 05.07.2017).
7. Castells M. The information age. Economy, Society and Culture. Translated into Russian. Moscow, 2000 (in Russ.).
8. Dontsov A. I., Emelianova T. P. Concept of social perceptions in modern French social psychology. Moscow, 1987 (in Russ.).
9. Bruner J. Beyond the Information Given: Studies in the Psychology of Knowing. Moscow, 1977 (in Russ.).
10. Samojlik A. A. Internet addiction – urgent problem of modern society. *Bull. of Cherepovets State Univ.* 2013. Vol. 2 (2). P. 126–128. (in Russ.).
11. Baksansky O. E. Virtual reality and reality virtualization. Moscow, 2006. 30 p. (in Russ.).
12. Shatalina M. A. Analysis of the factors causing internet addiction. *Bull. of Kostroma State Univ.* 2009. Vol. 15. P. 188–192 (in Russ.).
13. Dubrovina O. V. Psychological characteristics of virtual addicts. *Sib. Ped. J.* 2009. Vol. 10. P. 333–341 (in Russ.).
14. Kolotilova O. I., Korneyuk I. I., Husainov D. R., et al. Dopaminergic system of the brain. *Bull. of Bryansk State Univ.* 2011. Vol. 3. P. 11 (in Russ.).
15. Starshenbaum G. V. Addictology. Psychology and psychotherapy of addictions. Moscow, 2017. 262 p. (in Russ.).
16. Differential physiological changes following internet exposure in higher and lower problematic internet users. San Francisco, California, US. URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0178480> (date of access: 07.07.2017).

Статья поступила в редколлегию 29.05.2017
Received by editorial board 29.05.2017

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 577.352.33:577.359:504.055

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДОВОГО ФАКТОРА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАЗМАТИЧЕСКИХ МЕМБРАН ТИМОЦИТОВ КРЫС

И. В. ПУХТЕЕВА¹⁾, Н. В. ГЕРАСИМОВИЧ¹⁾, М. С. МАТЯШ¹⁾

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

Результаты проведенных исследований по изучению комбинированного действия ацетата свинца и низких температур на структурное состояние плазматической мембраны клеток показали, что в указанных условиях происходит модификация структурно-функционального состояния плазматических мембран клеток тимуса крыс по сравнению с отдельным действием повреждающих факторов. При воздействии ацетата свинца на тимоциты происходит переориентация компонентов мембраны, что приводит к изменению ее конфигурации, то есть текучести, а также запускаются процессы перекисного окисления липидов, при которых происходит уменьшение содержания полиненасыщенных жирных кислот мембранных фосфолипидов и изменяются физико-химические свойства мембран, что играет важную физиологическую роль в адаптации различных организмов к внешним

Образец цитирования:

Пухтеева И. В., Герасимович Н. В., Матяш М. С. Влияние холодового фактора и тяжелых металлов на структурное состояние плазматических мембран тимоцитов крыс // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 31–39.

For citation:

Puhteeva I. V., Gerasimovich N. V., Matyash M. S. The influence of the cold factor and heavy metals on the structural state of plasma membranes of rats thymocytes. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 32–39 (in Russ.).

Авторы:

Ирина Викторовна Пухтеева – старший преподаватель кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Наталья Васильевна Герасимович – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Максим Сергеевич Матяш – студент V курса факультета экологической медицины.

Authors:

Irina V. Puhteeva, senior lecturer of the chair of environmental medicine and radiobiology.

puhteeva@mail.ru

Natalya V. Gerasimovich, PhD (biological), associate professor; associate professor of the chair of environmental medicine and radiobiology.

nvgerasimovich@mail.ru

Maksim S. Matyash, 5 years student of the faculty of environmental medicine.

m.m.s.96@list.ru

экстремальным воздействиям. Цель работы – изучение влияния сочетанного действия ацетата свинца и низких температур на структурно-функциональные характеристики плазматических мембран тимоцитов экспериментальных животных. Объектом исследования являлись тимоциты экспериментальных животных (крысы). Изучение изменения структуры мембран тимоцитов при низкой температуре позволит дополнить сведения о развитии адаптивного ответа и реакции организма на низкие и сверхнизкие температуры, добиться определенных успехов не только в медицине, но и в современных развивающихся науках и их направлениях.

Ключевые слова: температура; полярность; микровязкость; аннулярный липид; липидный бислой; флуоресцентный зонд пирен; ацетат свинца.

THE INFLUENCE OF THE COLD FACTOR AND HEAVY METALS ON THE STRUCTURAL STATE OF PLASMA MEMBRANES OF RATS THYMOCYTES

I. V. PUHTEEVA^a, N. V. GERASIMOVICH^a, M. S. MATYASH^a

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: puhteva@mail.ru

The purpose of this work is to study the effect of combined action of lead acetate and low temperatures on the structural and functional characteristics of plasma membranes of thymocytes from experimental animals. The object of the study was thymocytes of experimental animals (rats). Under the influence of low temperatures on the cell, damage and changes in plasma membranes are associated with phase transitions in the lipid component. The results of the conducted studies of the combined action of lead acetate and low temperatures on the structural state of the plasma membrane of cells showed that under these conditions, the structural and functional state of the plasma membranes of rat thymus cells is modified in comparison with the separate effect of damaging factors. According to the results obtained, with the action of lead acetate on thymocytes, a reorientation of the membrane components takes place, which leads to the change in its configuration, i.e. fluidity, the processes of lipid peroxidation are also triggered, in which the content of polyunsaturated fatty acids of membrane phospholipids decreases and physicochemical properties of membranes change, which plays an important physiological role in the adaptation of various organisms to external extremes. The study of changes in the structure of thymocyte membranes at a low temperature will allow us to better understand the adaptive response and the body's response to low and ultra-low temperatures, to achieve certain successes not only in medicine but also in modern developing sciences and their directions.

Key words: temperature; polarity; microviscosity; annular lipids; lipid bilayer; fluorescent probe pyren; lead acetate.

Введение

Тесная взаимосвязь физических, химических и биологических явлений позволяет утверждать, что исследование влияния низких температур и солей тяжелых металлов может привести к фундаментальным открытиям, что необходимо для создания технологий будущего. Влияние низких и сверхнизких температур на организм и клетки не изучено до конца. Процессы, происходящие при охлаждении и попадании в клетку тяжелых металлов, являются основными для изучения различных направлений биологии, космической биологии, медицины, физики, нейрохирургии и других наук. Изучение механизмов индивидуальной устойчивости организма к неблагоприятному действию различных физических факторов имеет большое социальное и медицинское значение. На основании данных современной науки можно утверждать, что различные представители животного мира, а также органы, ткани и клетки по-разному реагируют на действие холода [1].

Опасность свинца для человека определяется его значительной токсичностью и способностью накапливаться в организме. Различные его соединения обладают разной токсичностью. Однако на практике, как правило, анализируется только общее содержание свинца в различных компонентах окружающей среды, продовольственном сырье и пищевых продуктах, без дифференциации на фракции и идентификации вида соединений. В организм человека большая часть свинца поступает с продуктами питания (от 40 до 70 % в разных странах и по различным возрастным группам), а также с питьевой водой, атмосферным воздухом, при курении, при случайном попадании в пищевод кусочков содержащей свинец

краски или загрязненной свинцом почвы. С атмосферным воздухом поступает незначительное количество свинца – всего 1–2 %, но при этом большая его часть абсорбируется в организме человека [2].

В продовольственное сырье и пищевые продукты свинец может поступать из почвы, воды, воздуха, кормов сельскохозяйственных животных по ходу пищевой цепи. Кроме того, определенное значение имеет и возможность прямого загрязнения при производстве готовых предметов торговли. Наиболее высокие уровни содержания свинца отмечаются в консервах в жестяной таре, рыбе свежей и мороженой, пшеничных отрубях, желатине, моллюсках и ракообразных. Высокое содержание свинца наблюдается в корнеплодах и других растительных продуктах, выращенных на землях вблизи промышленных районов и вдоль дорог. Загрязнение продуктов в сборной жестяной банке объясняется тем, что припой, используемый при сварке швов, содержит до 60 % свинца, а используемые покрытия не выдерживают «агрессивной» среды товара [3].

Основной механизм действия свинца на организм заключается в том, что он блокирует ферменты, участвующие в синтезе гемоглобина, в результате чего красные кровяные тельца не могут переносить кислород, развивается анемия и хроническая недостаточность кислорода. В настоящий момент неясно, может ли воздействие невысоких доз свинца из окружающей среды привести к ухудшению функционирования организма.

Проблема исследования действия свинца на компоненты биологических мембран в настоящее время весьма актуальна. Вопросы о том, какие компоненты мембран наиболее чувствительны и по каким механизмам осуществляется поражение, чрезвычайно важны для понимания последствий воздействия свинца на организм. В настоящее время накоплен обширный материал об относительной чувствительности белковой и липидной фаз биологических мембран. Многочисленными исследованиями обнаружено уменьшение доли суммарных липидов и накопление холестерина, увеличение количества липоперекисей и перераспределение фракций индивидуальных фосфолипидов в мембранах клеток пораженного организма [4].

В связи с этим исследование комбинированного влияния низких температур и тяжелых металлов на состояние клеточных мембран различных популяций клеток при адаптации организма к экстремальным условиям представляет большой интерес.

Цель данной работы – исследование влияния холодового фактора и солей тяжелых металлов на структурное состояние плазматических мембран тимоцитов крыс.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись тимоциты экспериментальных животных (крыс). Все операции по выделению тимоцитов проводили на холоде по стандартной методике [5]. Охлаждение клеток проводили путем помещения их в морозильную камеру на 5–35 мин до достижения температуры раствора от –3 до +16 °С. Жизнеспособность клеток и их количество определяли в гемцитометрической камере при помощи окрашивания раствором трипанового синего. Действие ацетата свинца моделировали следующим образом: вносили в суспензию клеток раствор ацетата свинца в конечных концентрациях 0,4 мкг/л и 0,04 мкг/л и инкубировали в течение 15 мин.

Структурное состояние плазматических мембран тимоцитов оценивали по изменению полярности и микровязкости липидного бислоя и аннулярного липида [6]. В возбужденном состоянии молекулы пирена способны объединяться в долгоживущие комплексы – эксимеры, испускание квантов у которых смещено в более длинноволновую область по сравнению с мономером. Эксимеризация является диффузионно-контролируемым процессом и может характеризовать микровязкость окружения зонда.

Измерение флуоресценции пирена при длинах волн возбуждения 286 нм и 337 нм позволяет учитывать гетерогенность липидной фазы. При возбуждении зонда светом с длиной волны 337 нм флуоресценция определяется суммарным вкладом пирена, локализованного как вблизи белка, так и в общей липидной фазе. При стимуляции флуоресценции квантами относительно низковолновой части спектра (286 нм), возникающая затем эмиссия определяется молекулами пирена, расположенными в прибелковой области, так как формируется за счет безизлучательного переноса энергии на зонд с мембранных триптофанилов.

Статистическая обработка результатов проводилась с применением пакета статистических программ Microsoft Excel 2010. Результаты экспериментов выражали в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего, а достоверность различий в группах оценивали по *t*-критерию Стьюдента. При этом различия считали достоверными при $p \leq 0,05$ [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно данным литературы [1; 8], в клетках в точке замерзания или после предшествующего переохлаждения может наступить кристаллизация льда. По мере понижения температуры некоторые виды клеток постепенно обезвоживаются, так как молекулы воды выходят из клеток во внешнюю среду и там превращаются в лед. Кристаллы льда могут образоваться как в ядре, так и в цитоплазме. Может происходить также миграционная перекристаллизация, в результате которой как внутри, так и вне клеток мелкие кристаллы превращаются в крупные. Поэтому, чтобы избежать сильного повреждения клеток и клеточных мембран, в ходе эксперимента клетки подвергали постепенному охлаждению.

В ходе исследования выживаемости тимоцитов при снижении температуры суспензии клеток была отмечена тенденция к уменьшению выживаемости клеток. Однако установленные изменения в жизнеспособности клеток незначительны. Так, при контрольной температуре в 21 °С количество погибших клеток не превышало 3 %, что входит в пределы нормы, а при снижении температуры уже до 4 °С – 89 %, что говорит о гибели менее 10 % тимоцитов. Данная зависимость свидетельствует о том, что при снижении температуры более чем в 5 раз сохраняется жизнеспособность клеток. Причиной увеличения гибели может быть повреждение структуры клеток, которые связаны с фазовыми переходами в липидном и белковом компоненте, в результате чего происходит нарушение различных свойств мембраны, ведущее к гибели клетки.

Как известно, важнейшая биологическая функция липидов – построение клеточных мембран. При образовании мембраны молекулы липидов ориентируются полярными группами («головками») наружу, а неполярными углеводородными концами («хвостами») внутрь. Образованный таким образом двойной слой определяет основное свойство мембран – их избирательную проницаемость. Изменения полярности липидного бислоя и аннулярного липида ведет к возможному нарушению их связывания, образованию «пробелов» в мембранах, а также к нарушению выполняемых функций [8–9].

Таким образом, в ходе исследования были проанализированы показатели полярности плазматических мембран тимоцитов при охлаждении (рис. 1).

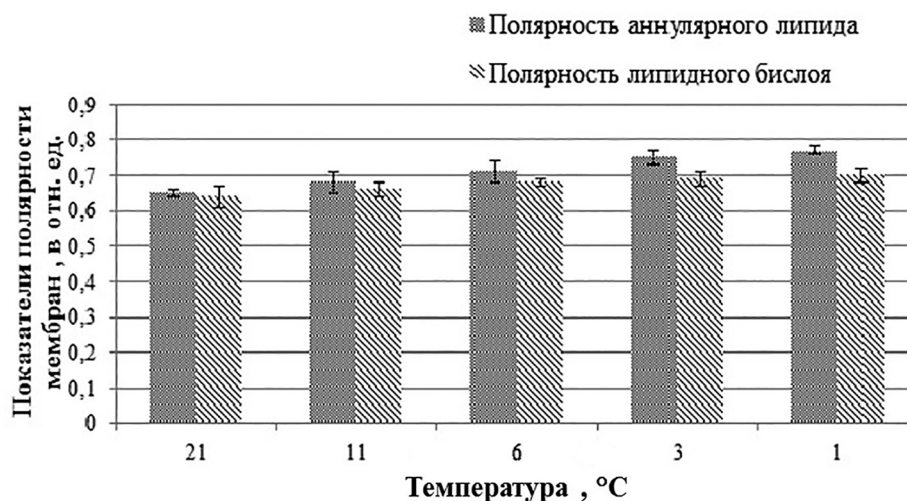


Рис. 1. Динамика изменения полярности различных областей плазматической мембраны тимоцитов при охлаждении

Fig. 1. Change in polarity of different areas of thymocytes plasma membrane upon cooling

Как следует из данных, представленных на рис. 1, при снижении температуры суспензии клеток тимуса до 11 °С не наблюдается статистически значимых изменений полярности аннулярного липида. При дальнейшем снижении температуры до 1 °С наблюдалось постепенное увеличение показателей примерно на 30 % по отношению к суспензии клеток при комнатной температуре (21 °С). Аналогичная тенденция наблюдалась при изучении показателей полярности липидного бислоя – увеличение на 20 % при снижении температуры до 1 °С. Процесс температурозависимого перехода мембраны из жидкокристаллического состояния в гелеобразное ведет к образованию стабильной структуры, пластичность которой резко отличается от мембран при физиологических температурах [10].

Температура фазового перехода зависит от длины и степени насыщенности его жирнокислотного компонента, а также от природы полярной головки. В механизмах холодной адаптации особая роль отводится степени насыщенности: с увеличением числа двойных связей в жирнокислотных хвостах липидов температура фазового перехода понижается, что позволяет мембране нормально функционировать

в области пониженных температур. В двухкомпонентных смесях ФЛ с сильно различающимися температурами переходов они идут независимо, а в диапазоне температур между переходами жидкокристаллическое и гелеобразное состояние сосуществуют. В разделении фаз на этапе фазового перехода важна роль латеральной диффузии. В более сложных смесях кооперативность перехода менее выражена: он протекает в достаточно широкой температурной зоне, поскольку наличие холестерина обуславливает расширение температурных границ фазового перехода [10; 11].

Агрегатное состояние мембранных липидов влияет на клеточные функции, примером является изменение проницаемости для ионов и метаболитов. Поэтому характер фазовых переходов также имеет значение для прогнозирования процессов репарации мембранных структур в фазе отогрева замороженной системы. Отметим, что в области низкотемпературного перехода и особенно фазового разделения липидов уровень дефектности мембраны возрастает, что при отогреве ведет к утечке содержимого из клетки. При этом большое значение имеют латеральное разделение липидов в плоскости бислоя, которое облегчается в условиях низких температур, и время релаксации этого процесса после отогрева, когда необходимо реализовать механизм восстановления возникших трансмембранных дефектов [11].

Основой мембраны является липидный бислой, с ним связаны белки, либо погруженные в бислой, либо присоединенные к цитоплазматической поверхности, в нем также жестко закреплены интегральные белки. Микровязкость мембраны сильно влияет на ее функционирование.

Результаты экспериментов по изучению микровязкости аннулярных липидов и общего липидного бислоя представлены на рис. 2.

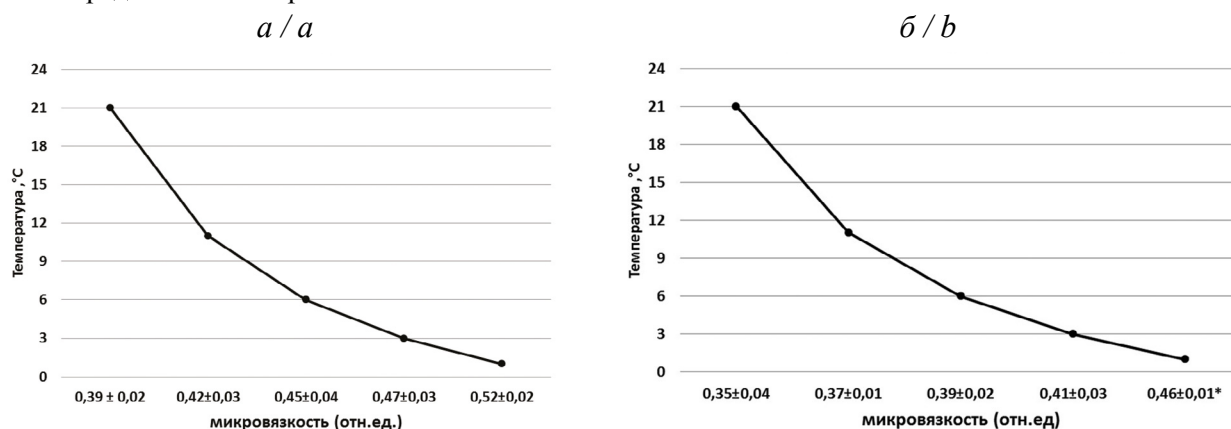


Рис. 2. Изменение микровязкости различных областей плазматической мембраны при холодовом воздействии: а – микровязкость липидного бислоя; б – микровязкость аннулярного липида

Fig. 2. Change in microviscosity of different areas of thymocytes plasma membrane upon cooling: а – microviscosity of lipidic bilayer; б – microviscosity of annular lipids

В ходе исследования было установлено (рис. 2, а), что охлаждение тимоцитов приводит к увеличению микровязкости общего липидного бислоя приблизительно в 1,4 раза в диапазоне температур от 21 °С до 1 °С. Микровязкость аннулярного липида также увеличивается по мере снижения температуры примерно в 1,4 раза (рис. 2, б).

При увеличении микровязкости мембраны происходит снижение ее проницаемости для воды и других малых гидрофильных молекул, также снижается и скорость латеральной диффузии интегральных белков. Если активный центр интегрального белка, осуществляющий некую функцию, располагается исключительно в гидрофильной его части, то изменение текучести липидов, вероятно, не скажется слишком сильно на активности белка. Но если белок выполняет транспортную функцию и транспортный компонент пересекает мембрану, то изменения свойств липидной фазы могут привести к значительному изменению скорости транспорта [10].

При оценке белкового компонента плазматических мембран тимоцитов отмечены некоторые изменения (табл.).

Судя по полученным результатам, снижение температуры в пределах положительных значений не приводит к серьезным изменениям структурного состояния мембраносвязанных белков на основании изучения степени тушения белковой флуоресценции пиреном.

Можно предположить, что при понижении температуры ниже нуля будет наблюдаться значительное снижение степени тушения, поскольку известно, что снижение температуры среды приводит к миграции белков из липидного матрикса к его поверхности, агрегации и сегрегации внутри липидного бислоя.

Изменение степени тушения белковой флуоресценции плазматических мембран тимоцитов крыс при действии низких температур

Table

Change in degree of quenching of protein fluorescence of rats' thymocytes plasma membranes at low temperature

Температура, °С	Степень тушения белковой флуоресценции, %
Контроль 21	24,15±2,08
11	25,12±2,06
6	25,68±2,78
3	28,03±2,53
1	28,41±2,83

При исследовании комбинированного действия ацетата свинца и низких температур на изменение липидного компонента мембраны при помощи флуоресцентного зонда пирена были получены следующие результаты (рис. 3).

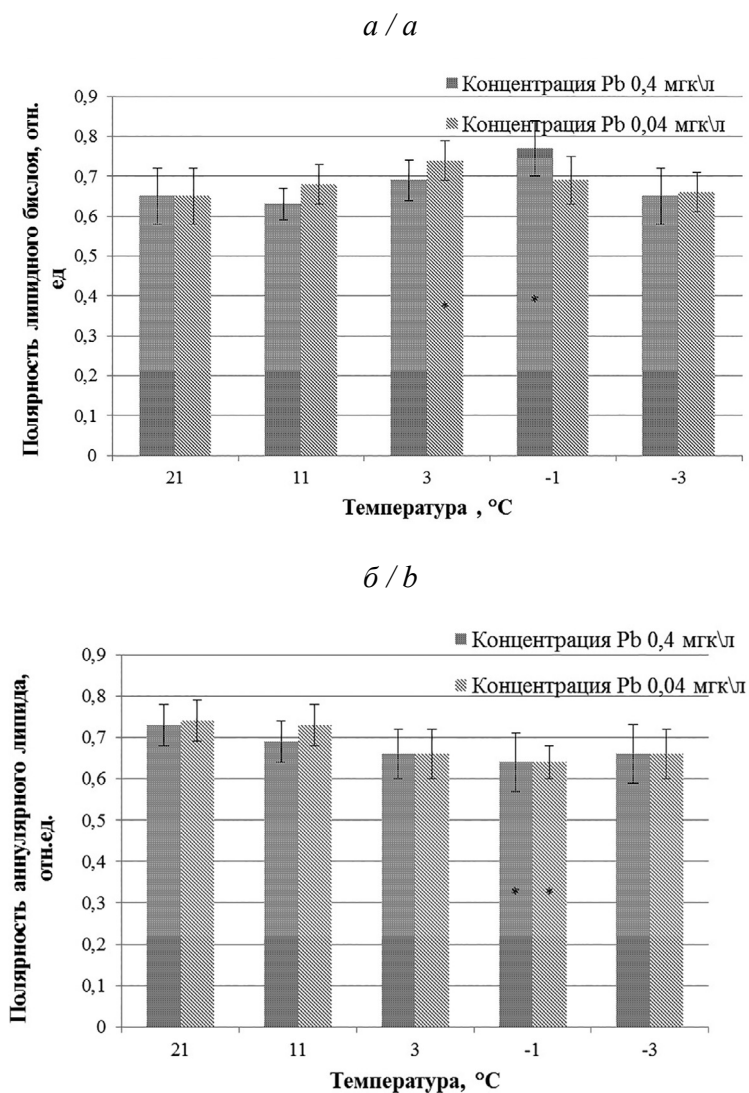


Рис. 3. Изменение полярности различных областей плазматической мембраны тимоцитов при комбинированном воздействии: *a* – полярность липидного бислоя, отн. ед.; *b* – полярность аннулярного липида, отн. ед.

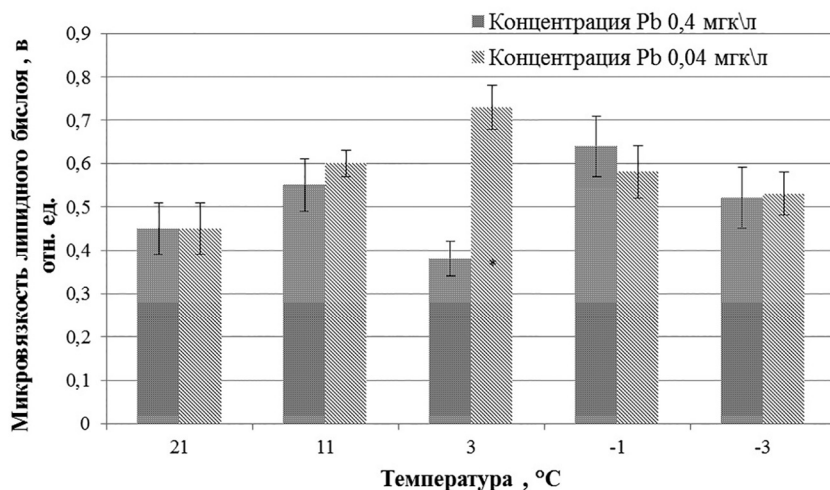
* – результаты достоверны по отношению к контролю при $p \leq 0,05$

Fig. 3. Change in polarity of different areas of thymocytes plasma membrane upon combined effect: *a* – polarity of lipidic bilayer, rel. units; *b* – polarity of annular lipids, rel. units

Как следует из рис. 3, *a*, значение полярности липидного бислоя при концентрации ацетата свинца 0,4 мкг/л и 0,04 мкг/л изменяется фазно, максимум увеличения изучаемого показателя отмечен при охлаждении клеток до +3 и –1 °С и составило 18–20 % по отношению к контролю.

В области аннулярных липидов отмечена противоположная тенденция (рис. 3, *б*). Было установлено снижение показателя полярности на 15–18 % по отношению к контролю при охлаждении. Различий, связанных с изменением концентрации ацетата свинца в среде инкубации клеток, установлено не было.

a / a



б / b

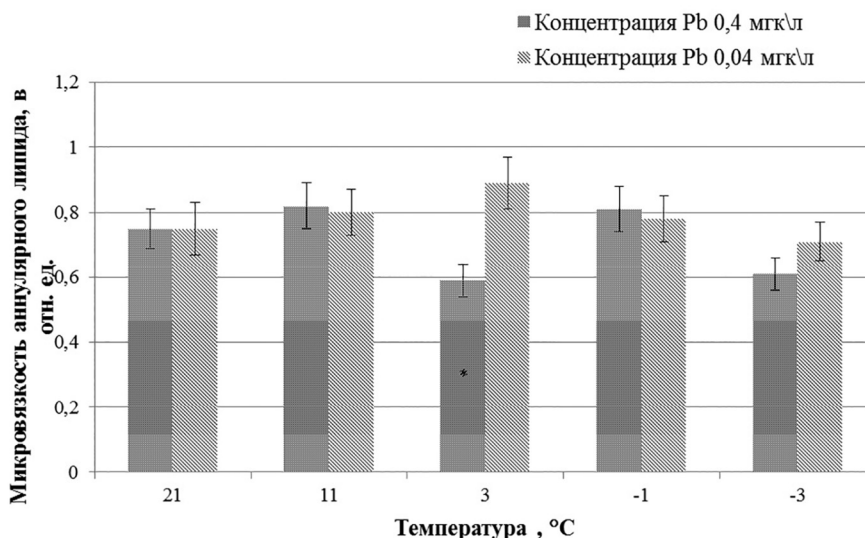


Рис. 4. Модификация микровязкости различных областей плазматической мембраны тимоцитов при комбинированном воздействии: *a* – микровязкость липидного бислоя, в отн. ед.; *б* – микровязкость аннулярного липида, в отн. ед.

* – результаты достоверны по отношению к контролю при $p \leq 0,05$

Fig. 4. Change in microviscosity of different areas of thymocytes plasma membrane upon combined effect: *a* – microviscosity of lipidic layer, rel. units; *b* – microviscosity of annular lipids, rel. units

Значения показателя микровязкости липидного бислоя плазматической мембраны представлены на рис. 4, *a*. В эксперименте наблюдается фазные изменения данного показателя при действии ацетата свинца в концентрации 0,4 мкг/л: сначала повышение его на 10 % по отношению к значениям при температуре суспензии 21 °С при охлаждении до 11 °С, а затем снижение на 20 % при достижении температуры суспензии 3 °С; после чего микровязкость области общих липидов повышается на 25–30 %. При действии ацетата свинца в концентрации 0,04 мкг/л отмечено увеличение изучаемого показателя

с максимумом при 3 °С – на 35 % по отношению к значениям при комнатной температуре.

Как следует из рис. 4, б, значение микровязкости аннулярного липида при действии ацетата свинца в концентрации 0,4мкг/л имело статистически значимое снижение на 15 % при охлаждении до температуры 3 °С. При изучении влияния соли свинца в конечной концентрации 0,04 мкг/л наблюдается тенденция к незначительному увеличению микровязкости этой области липидов (на 5 % при температуре раствора 3 °С).

Можно предположить, что комбинированное действие ацетата свинца и понижение температуры привели не только к фазовым переходам в структуре мембран от жидкокристаллического состояния к гелеобразному, но и увеличению скорости процесса перекисного окисления липидов.

Как правило, биомембраны находятся в жидкокристаллическом состоянии и, по-видимому, поддержание такого состояния очень важно для их функционирования. Жидкая часть мембраны ограничена внутренней гидрофобной фазой, которая состоит из углеводородных цепей жирных кислот. Эта фаза, однако, не всегда бывает жидкой. При охлаждении до температур ниже 10 °С мембраны замерзают, то есть жидкая фаза затвердевает, приобретая свойства двумерного кристалла [1; 11].

Изучение зависимости структурного состояния биологических мембран от температуры во многом основано на том, что многие клеточные функции, непосредственно или опосредованно связанные с мембранами, проявляют аномалии в температурных зависимостях.

Наиболее вероятной причиной этих аномалий являются структурные изменения в белковом и липидном компонентах мембранных систем.

С понижением температуры в мембране увеличивается доля структурированных липидов, область кластеров расширяется, а мембранные белки перемещаются ближе к поверхности мембраны. Образование кластеров в мембранах при снижении температуры существенно влияет на липид-белковые взаимодействия и модифицирует ферментативную активность [12].

Итак, в дальнейших экспериментах был проведен анализ влияния ацетата свинца и охлаждения в изучаемом диапазоне температур на состояние белкового компонента плазматических мембран тимочитов крыс (рис. 5).

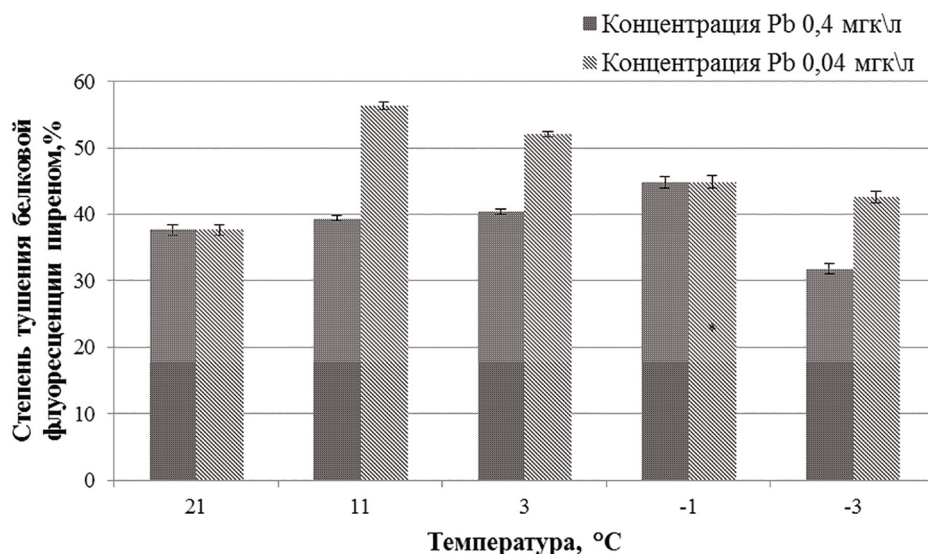


Рис. 5. Динамика изменения степени тушения белковой флуоресценции пиреном при комбинированном воздействии

* – результаты достоверны по отношению к контролю при $p \leq 0,05$

Fig. 5. Change in degree of quenching of protein fluorescence upon combined effect

Как следует из рис. 5, при изучении влияния ацетата свинца в концентрации 0,4 мкг/л на степень тушения белковой (триптофановой) флуоресценции не наблюдается достоверных различий исследуемого показателя, а при действии свинца в концентрации 0,04 мкг/л мы видим увеличение данного показателя на 40 % при охлаждении до температуры 11 °С с последующим снижением при дальнейшем понижении температуры инкубации суспензии клеток. При минимальной температуре –3 °С установлено повышение степени тушения на 15 % по отношению к значениям при комнатной температуре.

Заключение

Результаты проведенных исследований по изучению влияния свинца на структурное состояние плазматической мембраны клеток свидетельствуют, что данный элемент обладает способностью модифицировать их структурно-функциональное состояние. Этот эффект заключается в способности свинца изменять физико-химические характеристики липидного компонента цитоплазматической мембраны клеток.

Таким образом, при воздействии низких температур и тяжелых металлов на клетку наблюдается повреждение и изменение мембран, связанное с возможными фазовыми переходами при охлаждении клеток *in vitro*. Так как мембраны тимоцитов представляют собой белково-липидный слой, то криовоздействие направлено на модификацию их взаимодействия. При воздействии на липидный компонент изменялось естественное агрегатное состояние, что может оказывать большое влияние на функцию и структуру белков, липидов, и их взаимодействие. Согласно результатам, полученным из проведенного опыта, можно говорить, что основным фактором, повреждающим мембраны и приводящим к гибели клеток, является изменение структуры липидов, так как липиды участвуют в различных функциях клеток и мембран (структурная, защитная, транспортная, энергетическая, и др.)

Библиографические ссылки

1. Жмакин А. И. Физические основы криобиологии // Успехи физических наук. 2008. Т. 178, № 3. С. 243–266.
2. Новикова М. А., Пушкарев Б. Г., Судаков Н. П. и др. Влияние хронической свинцовой интоксикации на организм человека (сообщение 1) // Сиб. мед. журнал. 2013. № 2. С. 13–16.
3. Явербаум П. М. Общие вопросы токсического действия свинца. Иркутск, 2006.
4. Абдуллаев В. Р., Мурадова Г. Р., Абдуллаева Н. М. Люминесцентный анализ состояния митохондрий при воздействии некоторых тяжелых металлов // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 5. С. 243–246.
5. Лимфоциты: Методы : пер. с англ. / под ред. Дж. Клауса. М., 1990. 400 с.
6. Векшин Н. Л. К вопросу об измерении вязкости модельных и биологических мембран по люминесценции пирена // Биол. науки. 1987. № 11. С. 59–66.
7. Атраментова Л. А., Утевская О. М. Статистические методы в биологии : учебник. Горловка, 2008.
8. Голохваст К. С., Чайка В. В. Некоторые аспекты механизма влияния низких температур на человека и животных (литературный обзор) // Вестн. новых мед. технол. 2011. Т. 18. № 2. С. 486–489.
9. Козырева Т. В., Елисеева Л. С., Вавилин В. А. и др. Влияние скорости и глубины охлаждения на иммунный ответ и содержание кортикостерона в плазме крови / Т. В. Козырева, Л. С. Елисеева, В. А. Вавилин // Росс. физиол. журнал. 2000. Т. 86. № 12. С. 1618–1623.
10. Луценко М. Т., Луценко М. М., Шматок М. И. Повреждающее действие низких температур на миофибриллы кардиомиоцитов // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2013. Вып. 48. С. 56–62.
11. Позднякова О. Н., Просина Л. А., Кондратенко Е. И. и др. Ранние изменения уровня продуктов перекисного окисления липидов в крови крыс // Вестн. АГТУ. 2006. № 3(32). С. 207–213.
12. Луценко М. М. Особенности липидного обмена при общем охлаждении организма // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2012. Вып. 44. С. 95–100.

References

1. Zhmakin A. I. Physical fundamentals of cryobiology. *Success of phys. sci.* 2008. Vol. 178, No. 3. P. 243–266 (in Russ.).
2. Novikova M. A., Pushkarev B. G., Nikiforov S. B., et al. The effect of persistent lead intoxication on human organism. *Sib. Med. J.* 2013. No. 2. P. 13–16.
3. Yaverbaum, P. M. General issues of toxicity of lead. Irkutsk, 2006 (in Russ.).
4. Abdullayev V. R., Muradova G. R., Abdullayeva N. M. Luminescent analysis state of the mitochondria when exposed to certain heavy metals. *News of the Samara Scien. Cent. RAS.* 2015. Vol. 17, No. 5. P. 243–246.
5. Klaus J. (ed). *Lymphocytes: Methods.* Moscow, 1990 (in Russ.).
6. Vekshin N. L. The issue of measuring the viscosity model and biological membranes on luminescence of pyrene. *Biol. scien.* 1987. No. 11. P. 59–66 (In Russ.).
7. Atramentova L. A., Utevskaia O. M. Statistical methods in biology: textbook. Gorlovka, 2008 (in Russ.).
8. Golokhvast K. S., Chaika V. V. Several aspects of the mechanism of low temperature effect upon human being and animals (literary review). *Herald of new med. technol.* 2011. Vol. 18, No. 2. P. 486–489 (in Russ.).
9. Kozyreva T. V., Eliseeva L. S., Vavilin V. A. Effect of cooling speed and depth on the immune response and the content of corticosterone in blood plasma. *Russ. physiol. J.* 2000. Vol. 86, No. 12. P. 1618–1623 (in Russ.).
10. Lutsenko M. T., Lutsenko M. M., Shmatok M. M. Deleterious effect of low temperatures on myofibril cardiomyocytes. *Newsl. of physiol. and pathol. of breath.* 2013, issue 48. P. 56–62.
11. Pozdnyakova O. N., Prosina L. A., Kondratenko E. I., et al. Early changes in the levels of lipid peroxidation in blood of rats. *Vestn. ASTU.* 2006. No. 3(32). P. 207–213 (in Russ.).
12. Lutsenko M. M. Features of lipid metabolism at the general cooling of the organism. *Newsl. of physiol. and pathol. of breath.* 2012, issue. 44. P. 95–100 (in Russ.).

УДК 577.053.4:577.2.04

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦИКЛИЧЕСКИХ НУКЛЕОТИДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРАКЛЕТОЧНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

И. В. ПУХТЕЕВА¹⁾, Н. В. ГЕРАСИМОВИЧ¹⁾, Д. С. РЫБАЧЕНОК¹⁾

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

Содержание внутриклеточного цАМФ и цГМФ определяли радиоиммунным методом с помощью стандартных наборов (ИБОХ НАН РБ). Анализ показал, что пуриновые нуклеотиды в различной степени влияют на систему циклических нуклеотидов в тимocyтах и лимфоцитах периферической крови. Было установлено, что экзогенный АТФ достоверно увеличивал содержание цАМФ и цГМФ в тимocyтах, а система циклических нуклеотидов в лимфоцитах периферической крови проявляла ярко выраженные изменения при действии аденозина. Цель работы – проанализировать изменения концентрации циклических нуклеотидов в клетках иммунной системы крыс при воздействии пуриновых нуклеотидов. Объектом исследования являлись клетки тимуса (тимocyты) и лимфоциты периферической крови крыс. Результаты данной работы могут иметь важное практическое значение с точки зрения углубления представлений о реализации молекулярных механизмов воздействия различных биологически активных веществ через систему циклических нуклеотидов как одних из основных внутриклеточных посредников.

Ключевые слова: сигнальная трансдукция; циклические нуклеотиды; аденозин; АТФ; клетки иммунной системы.

THE FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF CYCLIC NUCLEOTIDES IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE OF EXTRACELLULAR PHYSIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

I. V. PUHTEEVA^a, N. V. GERASIMOVICH^a, D. S. RYBACHENOK^a

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: puhteeva@mail.ru

Образец цитирования:

Пухтеева И. В., Герасимович Н. В., Рыбаченок Д. С. Функционирование системы циклических нуклеотидов в условиях экстраклеточного воздействия физиологически активных веществ // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 40–45.

For citation:

Puhteeva I. V., Gerasimovich N. V., Rybachenok D. S. The functioning of the system of cyclic nucleotides in the conditions of influence of extracellular physiologically active substances. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 40–45 (in Russ.).

Авторы:

Ирина Викторовна Пухтеева – старший преподаватель кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Наталья Васильевна Герасимович – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Доротея Станиславовна Рыбаченок – студентка V курса факультета экологической медицины.

Authors:

Irina V. Puhteeva, senior lecturer of the chair of environmental medicine and radiobiology.

puhteeva@mail.ru

Natalya V. Gerasimovich, PhD (biological), associate professor; associate professor of the chair of environmental medicine and radiobiology.

nvgerasimovich@mail.ru

Dorothea Rybachenok, 5 years student of the faculty of environmental medicine.

dorothea.stanislovovna@mail.ru

The purpose of the work is to analyze possible changes of concentration of cyclic nucleotides in cells of the immune system of rats at influence of purine nucleotides. The objects of the research were thymus cells (thymocytes) and lymphocytes of peripheral blood of rats. The maintenance of intracellular cAMP and cGMP was defined by a radio immune method by means of reference sets (IBOH NAN RB). It is showed that purine nucleotides in different degrees affect the system of cyclic nucleotides in thymocytes and lymphocytes of peripheral blood. So, exogenous ATP authentically increased the maintenance of cAMP and cGMP in thymocytes, and the system of cyclic nucleotides in lymphocytes of peripheral blood showed pronounced changes at action of an adenosine. Results of this work can have important practical value from the point of view of deepening of ideas of realization of molecular mechanisms of influence of various biologically active agents through system of cyclic nucleotides as one of the main intracellular intermediaries.

Key words: signal transduction; cyclic nucleotides; adenosine; ATP; cells of the immune system.

Введение

Циклические нуклеотиды являются универсальными регуляторами биохимических процессов в живых клетках. Главная роль циклического нуклеотида в клетке – это стимулирование фосфорилирования белков рибосом, которое катализируется протеинкиназами. Это, в свою очередь, влияет на характер и количество синтезируемых белков в клетке. Изучение содержания цАМФ и цГМФ в клетках имеет важное диагностическое значение, так как циклические нуклеотиды влияют на регуляцию метаболизма и отражают степень воздействия факторов различной природы на организм. Например, снижение содержания внутриклеточного цАМФ приводит к тому, что цАМФ-зависимые протеинкиназы остаются неактивными, не могут фосфорилировать мембранные кальциевые каналы, которые остаются закрытыми и, таким образом, снижается ток ионов кальция из внеклеточного пространства, который мог бы играть роль «кальциевой искры», необходимой для массивного высвобождения ионов кальция из депо (саркоплазматического ретикулума) [1]. Повышение уровня цАМФ – наиболее ранний признак стрессовой ситуации в клетке, поэтому чрезмерная активация циклических нуклеотидов нередко ведет к развитию патологических реакций.

Пурины обладают мощными иммуномодулирующими свойствами и являются одними из основополагающих веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности клеток. Они постоянно присутствуют в организме, а также ежедневно поступают с пищей и принимают участие во многих физиологических жизненно важных процессах в ядре клеток [2].

Наиболее известным представителем веществ этого класса является нуклеозид аденозин, который влияет на все аспекты иммунной системы. Так, аденозин и его аналоги препятствуют развитию различных воспалительных заболеваний, ревматоидного артрита, воспаления плевры, нефритов, колитов, увеитов (воспаление сосудистой оболочки глаза) и токсического шока. Считается, что эффекты аденозина частично обусловлены ингибированием вредоносных процессов, инициируемых иммунной системой, включая выделения провоспалительных (обеспечивают мобилизацию воспалительного ответа) цитокинов и радикалов кислорода. Проводятся активные поиски терапевтических средств, основанных на воздействии рецепторов аденозина, для лечения и профилактики инфекционных, аутоиммунных, ишемических и дегенеративных заболеваний [3].

Аденозин образуется как внутриклеточно, так и внеклеточно при участии ряда ферментных систем. В клетках аденозин образуется в результате дефосфорилирования АМФ при участии 5'-нуклеотидазы и при гидролизе S-аденозилгомоцистеина при участии S-аденозилгомоцистеингидролазы. Внеклеточный аденозин возникает при гидролизе АТФ, АМФ и цАМФ, высвобождающихся в кровоток из клеток сосудистого эндотелия, гладкой мускулатуры и циркулирующих клеток крови как экзоцитозом (клеточный процесс, при котором внутриклеточные везикулы (мембранные пузырьки) сливаются с внешней клеточной мембраной), так и вследствие лизиса клеток [4].

Аденозин угнетает пролиферацию, дифференцировку и функции иммунных клеток. Показано значение аденозина в качестве регулятора активности аденилатциклазы и уровня цАМФ, медиатора действия таких нуклеотидов, как цАМФ, АМФ, АТФ. Аденозин увеличивает уровень АМФ либо через аденилатциклазный комплекс, либо через подавление активности фосфодиэстеразы. Имеются наблюдения, что аденозин в низких концентрациях подавляет, а в более высоких вызывает увеличение уровня цАМФ, в частности, в конечной концентрации 100 мкмоль аденозина активирует аденилатциклазу. Лимфоциты сходны с нервными клетками по присутствию рецепторов аденозина и способности аденозина связываться со специфическими рецепторами, повышая внутриклеточный уровень цАМФ. В-лимфоциты продуцируют аденозин путем сочетанного действия ферментов, которые производят или используют аденозин. В них высока активность 5'-нуклеотидаз и относительно низкая активность аденозинкиназы и аденозиндезаминазы.

T-лимфоциты продуцируют аденозин гораздо меньше, поскольку они содержат относительно мало 5'-нуклеотидаз и имеют высокоактивную аденозинкиназу и аденозиндезаминазу [4].

Молекулы АТФ, выходящие из клеток при повреждениях тканей, стимулируют клетки иммунной системы к запуску воспаления – защитной реакции организма. Однако слишком сильное и длительное воспаление может привести к нежелательным последствиям, например, ревматоидному артриту. АТФ в качестве переносчика информации помогает клеткам иммунной системы уничтожать клетки, инфицированные патогенными бактериями. Он является также непосредственным предшественником синтеза циклического аденозинмонофосфата – вторичного посредника передачи в клетку гормонального сигнала. Кроме того, ему отводится важное место в регуляции множества биохимических процессов. Являясь аллостерическим эффектором ряда ферментов, АТФ, присоединяясь к их регуляторным центрам, усиливает или подавляет их активность [5].

В связи с этим целью работы являлся анализ возможных изменений концентрации циклических нуклеотидов в клетках иммунной системы крыс при воздействии пуриновых нуклеотидов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на крысах-самцах массой 180–200 г, которые содержались в стандартных условиях вивария. В ходе исследования соблюдались принципы гуманного отношения к животным. Объектом исследования являлись клетки тимуса (timoциты) и лимфоциты периферической крови крыс, выделенные по стандартной методике [6]. В каждой серии экспериментов было использовано по 10 животных с трехкратным повторением ($n=30$).

Содержание внутриклеточного цАМФ и цГМФ определяли с помощью радиоиммунного метода с применением стандартных наборов (ИБОХ НАН РБ). Радиоиммунный метод, или анализ (РИА), – высокочувствительный метод, основанный на реакции антиген-антитело с применением антигенов или антител, меченных радионуклидом (^{125}J , ^{14}C , ^3H , ^{51}Cr и др.). После их взаимодействия отделяют образовавшийся радиоактивный иммунный комплекс и определяют его радиоактивность в соответствующем счетчике (бета- или гамма-излучение). Интенсивность излучения прямо пропорциональна количеству связавшихся молекул антигена и антител [7].

Наибольшее распространение получил метод конкуренции за специфические антитела, меченого радиоактивным изотопом антигена и такого же антигена, но свободного от радиоактивной метки, количество которого необходимо определить в исследуемой биологической среде.

С этой целью в исследуемую жидкость, в которой предполагается наличие антигена, добавляют известное количество такого же меченого антигена и стандартное количество антисыворотки с соответствующими антителами. Если в исследуемой жидкости отсутствует искомым специфический антиген, то около 70–80 % меченого антигена связывается с антителами, обуславливая высокую радиоактивность образующегося преципитата (осадок). Если в биологической среде присутствует искомым антиген, он конкурирует с меченым антигеном и связывает часть антител. В результате радиоактивность преципитата падает по сравнению с контролем. На этом принципе основано количественное определение антигенов или антител. [7]

Для анализа экстраклеточного действия АТФ и аденозина препарат вносили в суспензию клеток (10^6 клеток/мл) в конечной концентрации 1 мкмоль/л и инкубировали в течение 10 мин (37°C) [8].

Статистическая обработка результатов проводилась с применением пакета статистических программ Microsoft Excel 2010. Результаты экспериментов выражали в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего, а достоверность различий в группах оценивали по t -критерию Стьюдента. При этом различия считали достоверными при $p \leq 0,05$ [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание цАМФ и цГМФ в клетках в значительной мере определяется соотношением между активностью аденилатциклазы и гуанилатциклазы (катализирующих их образование из АТФ и ГТФ), с одной стороны, и активностью фосфодиэстераз, катализирующих их распад – с другой. Гормоны, соединяясь с рецепторами поверхности клеток, активируют ферменты, фиксированные в клеточных мембранах. Это приводит к изменению внутри клеток как соотношения, так и уровня цАМФ и цГМФ, а также изменяет ход ряда внутриклеточных биохимических процессов [10–11].

На основании данных, представленных на рис. 1, отмечено, что содержание цАМФ в тимоцитах и лимфоцитах периферической крови крыс выше, чем цГМФ, в 3 и 2,5 раза соответственно.

В норме концентрация цГМФ в клетках примерно в 100 раз меньше концентрации цАМФ, то есть примерно 10^{-7} М. Действие цАМФ и цГМФ может быть противоположным в зависимости от их концентрации.

По результатам, приведенным на рис. 2, можно сделать вывод о том, что содержание цАМФ в тимоцитах при добавлении АТФ без инкубации выше примерно в 2 раза, чем этот же показатель в случае инкубации с препаратом в течение 10 мин. Стоит отметить, что уровень стимулированного цАМФ выше базального уровня в интактных клетках примерно в 6 раз.

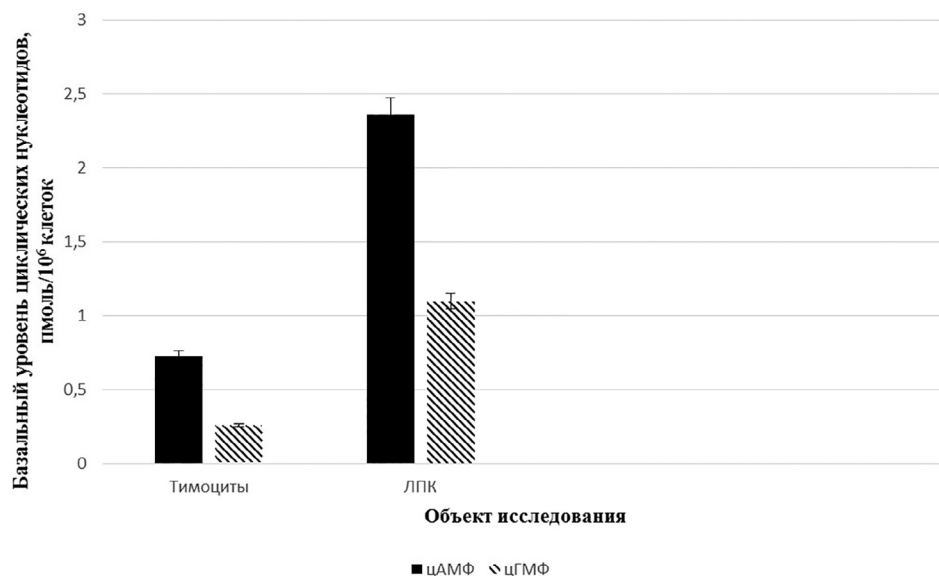


Рис. 1. Содержание цАМФ и цГМФ в тимоцитах и лимфоцитах периферической крови крыс

Fig. 1. The content of cAMP and cGMP in thymocytes of the peripheral blood of rats

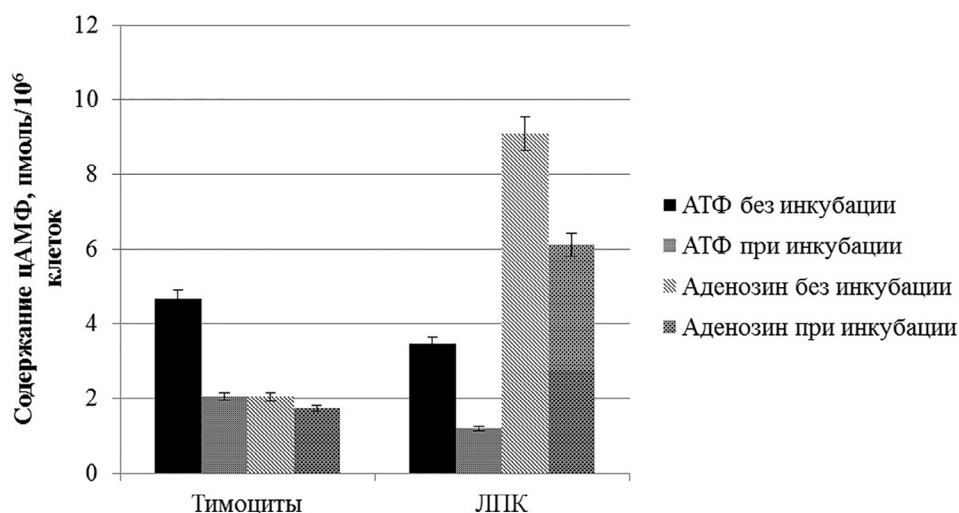


Рис. 2. Уровень цАМФ в тимоцитах и лимфоцитах периферической крови крыс при воздействии на них АТФ и аденозина

Fig. 2. cAMP concentration in thymocytes and lymphocytes of rats' peripheral blood under the effect of ATP and adenosine

Концентрация цАМФ в лимфоцитах периферической крови при добавлении АТФ повышается примерно в 3 раза относительно базального уровня в интактных клетках. В случае инкубации суспензии клеток с препаратом в течение 10 мин происходит постепенное снижение уровня цАМФ более чем в 2,5 раза, но этот показатель остается повышенным по сравнению с базальным уровнем примерно в 1,5 раза.

Содержание цАМФ в тимоцитах при добавлении аденозина как без инкубации, так и в случае 20-минутной инкубации суспензии клеток с препаратом не имеет достоверных различий. При этом отмечается повышение концентрации цАМФ относительно базального уровня примерно в 2,5 раза.

Концентрация цАМФ в лимфоцитах периферической крови при добавлении аденозина без инкубации выше, чем в случае придинкубации с препаратом в течение 20 мин, примерно в 1,5 раза. При этом уровень стимулированного аденозином цАМФ выше базального в 4 раза.

В отличие от аденилатциклазы, которая локализована в плазматической мембране, гуанилатциклаза, синтезирующая цГМФ из ГТФ, находится как в мембраносвязанном, так и в растворимом состоянии. Соотношения этих двух форм фермента в различных тканях разные [12].

Результаты исследований, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что содержание цГМФ в тимоцитах при добавлении АТФ без инкубации выше, чем содержание цГМФ с добавлением АТФ при инкубации в 6 раз, и выше, чем базальный уровень примерно в 11 раз. При этом количество цГМФ в лимфоцитах периферической крови при добавлении АТФ как без инкубации, так и при инкубации практически одинаковое, однако это в 2 раза выше базального уровня этого циклического нуклеотида в изучаемых клетках.

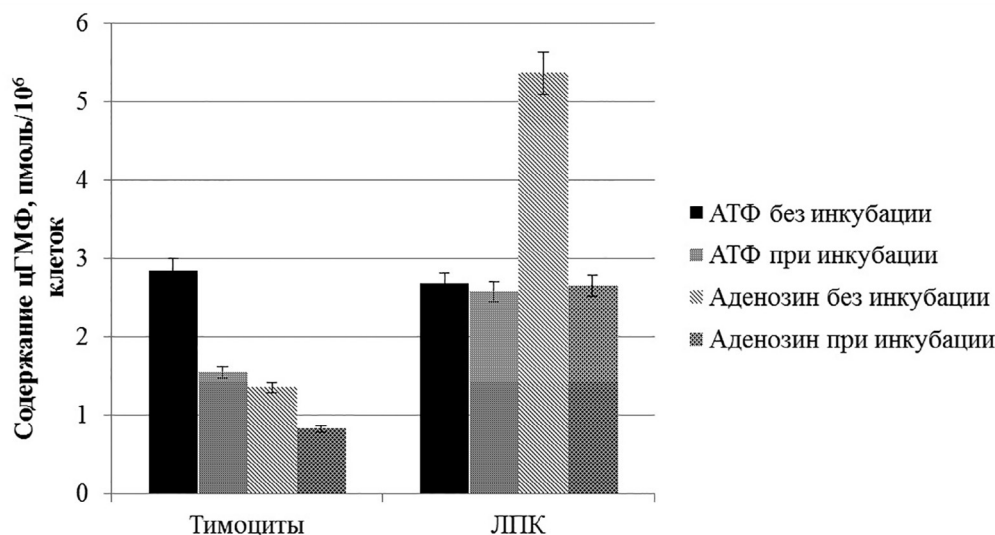


Рис. 3. Уровень цГМФ в тимоцитах и лимфоцитах периферической крови крыс при воздействии на них АТФ и аденозина

Fig. 3. cGMP concentration in thymocytes and lymphocytes of rats' peripheral blood under the effect of ATP and adenosine

При сравнительном анализе концентрации цГМФ в тимоцитах при добавлении аденозина показано, что изучаемый показатель при непосредственном добавлении в суспензию клеток в полтора раза выше, чем после инкубации с препаратом в течение 20 мин. Однако это все же выше базального уровня цГМФ в тимоцитах в 5 раз и в 3 раза соответственно.

Уровень цГМФ в лимфоцитах периферической крови при добавлении аденозина без инкубации в 2 раза выше, чем после инкубации. Содержание цГМФ при стимуляции клеток аденозином в 5 раз выше базального уровня в интактных лимфоцитах периферической крови.

Заключение

Установленный эффект повышения содержания циклических нуклеотидов при добавлении пуриновых нуклеотидов можно объяснить тем, что АТФ и аденозин воздействуют на соответствующие рецепторы: аденозин активирует P1 – пуринорецепторы (A1 – рецепторы), которые имеют высокое сродство к аденозину, а АТФ и ее структурные аналоги стимулирует P2 – пуринорецепторы [13].

Таким образом, из полученных в ходе исследования данных можно сделать следующие выводы. Экзогенный АТФ достоверно увеличивал содержание цАМФ (в 6 раз) и цГМФ (в 11 раз) в тимоцитах. В то же время в лимфоцитах периферической крови этот эффект был менее выраженным: при обработке клеток АТФ увеличивалось содержание цАМФ в 1,5 раза и цГМФ – в 2 раза. Наряду с этим, система циклических нуклеотидов в лимфоцитах периферической крови проявляла ярко выраженные изменения при действии аденозина, где уровень цАМФ увеличился в 4 раза, а уровень цГМФ – в 5 раз. В тимоцитах уровень цАМФ – в 3 раза, а уровень цГМФ увеличился в 5 раз.

Результаты данной работы могут иметь важное практическое значение с точки зрения углубления представлений о реализации молекулярных механизмов воздействия различных биологически активных веществ через систему циклических нуклеотидов как одних из основных внутриклеточных посредников.

Библиографические ссылки

1. Зинченко В. П., Долгачева Л. П. Внутриклеточная сигнализация. М., 2003.
2. Tasken K., Stokka A. J. The molecular machinery for cAMP-dependent immunomodulation in T-cells // *Biochem. Soc. Trans.* 2006. Vol. 34. P. 476–479.
3. Тапберженов С. О., Тапберженов Т. С. Ферменты метаболизма пуриновых нуклеотидов и иммунный статус при стрессорных состояниях разного происхождения // *Успех совр. естествозн.* 2009. № 7. С. 92–93.
4. Серебряная Н. Б. Нуклеотиды как регуляторы иммунного ответа // *Иммунология.* 2010. № 5. С. 273–281.
5. Юрьева О. В., Дубровина В. И. Роль сигнальных систем циклических нуклеотидов в регуляции иммунного патогенеза // *Бюл. ВСНЦ СО РАМН.* 2012. № 2. С. 159–163.
6. Лимфоциты: Методы : пер. с англ. / под ред. Дж. Клауса. М., 1990.
7. Медицинские лабораторные технологии: руководство по клинической лабораторной диагностике : в 2 т. / под ред. А. И. Карпищенко. М., 2013.
8. Рогачева О. Н., Стефанов В. Е., Щеголев Б. Ф. Сравнительный анализ структуры и энтальпии гидролиза молекул цАМФ и цГМФ методами квантовой биохимии // *Вестн. СПбГУ. Сер. 3.* 2007. Вып. 2. С. 86–90.
9. Атраментова Л. А., Утевская О. М. Статистические методы в биологии : учебник. Горловка, 2008.
10. Артиухов В. Г. и др. Вторичные мессенджеры цАМФ, Ca²⁺, NO – модулируют функциональные свойства лимфоцитов в условиях УФ-облучения // *Бюл. эксперимент. биол. и мед.* 2010. № 12. С. 637–641.
11. Feng G. Functional regulatory T cells produced by inhibiting cyclic nucleotides phosphodiesterase type 3 prevent allograft rejection // *J. Sci. Transl. Med.* 2011. Vol. 3. P. 83–86.
12. Vezzosi D. Phosphodiesterases in endocrine physiology and disease // *Eur. J. Endocrinol.* 2011. Vol. 65. P. 177–182.
13. Северин Е. С., Саватеева М. В. Молекулярно-физиологические механизмы функционирования мембранных рецепторных систем // *Acta Naturae* (русскояз. версия). 2011. Т. 3, № 1 (8). С. 20–29.

References

1. Zinchenko V. P., Dolgacheva L. P. Intracellular signaling. Moscow, 2003 (in Russ.).
2. Tasken K., Stokka A. J. The molecular machinery for cAMP-dependent immunomodulation in T-cells // *Biochem. Soc. Trans.* 2006. Vol. 34. P. 476–479.
3. Tapbergenov S. A., Tapbergenov T. S. Enzymes of purine nucleotides metabolism and immune status under stress conditions of different origin. *The success of modern natur. sci.* 2009. No. 7. P. 92–93 (in Russ.).
4. Serebrynaya N. B. Nucleotides as regulators of the immune response. *Immunology.* 2010. No. 5. P. 273–281 (in Russ.).
5. Yurieva O. V., Dubrovina V. I. Role of cyclic nucleotide signal systems in regulatin of immune- and pathogenesis. *Newsletter ESSC SB RAMS.* 2012. No. 2. P. 159–163 (in Russ.).
6. Klaus. J. (ed). Lymphocytes. Methods. Moscow, 1990 (in Russ.).
7. Karpischenko A. I. (ed) Medical laboratory technology: a guide for clinical laboratory diagnostics: in 2 vol. Moscow, 2013 (in Russ.).
8. Rogacheva O. N., Stefanov V. E., Schegolev B. F. Comparative analysis of structure and enthalpy hydrolysis molecules cAMP and cGMP methods of quantum biochemistry. *Messenger of SPbSU.* 2007. Ser. 3, issue 2. P. 86–90 (in Russ.).
9. Atramentova L. A., Utevskaia O. M. Statistical methods in biology: textbook. Gorlovka: Lihtar. 2008. 248 p. (in Russ.).
10. Artiukhov V. G., et al. Secondary messengers cAMP, Ca²⁺, NO – modulate the functional properties of lymphocytes in the conditions of UV-irradiation. *Newsl. of experiment. biol. and med.* 2010. No. 12. P. 637–641 (in Russ.).
11. Feng G. Functional regulatory T cells produced by inhibiting cyclic nucleotides phosphodiesterase type 3 prevent allograft rejection // *J. Sci. Transl. Med.* 2011. Vol. 3. P. 83–86.
12. Vezzosi D. Phosphodiesterases in endocrine physiology and disease. *Eur. J. Endocrinol.* 2011. Vol. 65. P. 177–182.
13. Severin E. Molecular and physiological mechanisms of membrane receptor systems. *Acta Naturae.* 2011. Vol. 3, No. 1 (8). P. 20–29 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 02.06.2017
Received by editorial board 02.06.2017

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 57.043+539.1.047+591.463

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС-САМЦОВ К ИЗОЛИРОВАННОМУ И СОЧЕТАННОМУ ДЕЙСТВИЮ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ (1,0 Гр) И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ (50 Гц)

Г. Г. ВЕРЕЩАКО¹⁾, **Н. В. ЧУЕШОВА¹⁾**, **М. А. БАКШАЕВА¹⁾**,
А. Е. КОЗЛОВ¹⁾, **Е. В. ЦУКАНОВА¹⁾**, **В. И. ШАЛАТОНИН²⁾**

¹⁾Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии НАН Беларуси»,
ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь

Образец цитирования:

Верещако Г. Г., Чуешова Н. В., Бакшаева М. А., Козлов А. Е., Цуканова Е. В., Шалатонин В. И. Чувствительность репродуктивной системы крыс-самцов к изолированному и сочетанному действию внешнего облучения (1,0 Гр) и магнитного поля промышленной частоты (50 Гц) // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 46–53.

For citation:

Vereschako G. G., Chueshova N. V., Bakshayeva M. A., Kazlou A. E., Tsukanova E. V., Shalatonin V. I. Sensitivity of the reproductive system of male-rats to isolated and combined external exposure activity (1.0 Gy) and magnetic field of industrial frequency (50 Hz). *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 47–53 (in Russ.).

Авторы:

Геннадий Григорьевич Верещако – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории эндокринологии и биохимии.

Наталья Владимировна Чуешова – научный сотрудник лаборатории эндокринологии и биохимии.

Маргарита Александровна Бакшаева – научный сотрудник лаборатории эндокринологии и биохимии.

Александр Евгеньевич Козлов – младший научный сотрудник лаборатории эндокринологии и биохимии.

Елена Владимировна Цуканова – младший научный сотрудник лаборатории экспериментальных биологических моделей.

Валерий Иванович Шалатонин – кандидат технических наук; доцент кафедры систем телекоммуникаций (СТК).

Authors:

Genadiy G. Vereschako, PhD (biological); leading researcher of the laboratory of endocrinology and biochemistry.
vereshako2@tut.by

Natalya V. Chueshova, researcher of the laboratory of endocrinology and biochemistry.
natalya-chueshova@tut.by

Marharyta A. Bakshayeva, researcher of the laboratory of endocrinology and biochemistry.
m.bakshaeva@yandex.ru

Aliaksandr E. Kazlou, junior researcher of the laboratory of endocrinology and biochemistry.
cozlov.aleksander@yandex.ru

Elena V. Tsukanova, junior researcher of the laboratory of experimental biological models.
elenatsukanova14@gmail.com

Valeriy I. Shalatonin, PhD. (engineering); associate professor of the department of telecommunication systems.
shalatonin@bsuir.by

Изучено влияние изолированного и сочетанного действия внешнего облучения в дозе 1,0 Гр (источник – ^{137}Cs , мощность дозы 46 сГр/мин) и магнитного поля промышленной частоты (50 Гц, 0,4 мТ, 4 часа/день, 5 дней/неделю, количество дней экспозиции – 28) на состояние репродуктивной системы самцов крыс линии Вистар в различные сроки после экспозиции.

Установлено снижение массы семенников после внешнего облучения, дезинтеграция процесса сперматогенеза, падение содержания глутатиона и повышение активности глутатионпероксидазы (ГПО) в ткани семенника, значительное ухудшение количественных и качественных показателей эпидидимальных сперматозоидов, увеличение некротической и программированной гибели сперматозоидов после указанных воздействий. Сочетанное действие внешнего облучения (1,0 Гр) и МП ПЧ (50 Гц) сопровождалось модификацией действия каждого из них и в ряде случаев приводило к эффектам, превышающим влияние каждого из них в отдельности. Изменения исследованных показателей свидетельствует о высокой чувствительности репродуктивной системы самцов к изучаемым антропогенным факторам окружающей среды.

Ключевые слова: крысы-самцы Вистар; внешнее облучение в дозе 1,0 Гр; МП ПЧ (50 Гц); органы репродуктивной системы крыс; относительная масса; сперматогенез; эпидидимальные сперматозоиды; количество клеток; жизнеспособность; апоптоз; некроз; фруктоза; глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа (ГАФДГ); акрозин; глутатион; глутатионпероксидаза (ГПО).

SENSITIVITY OF THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF MALE-RATS TO ISOLATED AND COMBINED EXTERNAL EXPOSURE ACTIVITY (1.0 Gy) AND MAGNETIC FIELD OF INDUSTRIAL FREQUENCY (50 Hz)

**G. G. VERESCHAKO^a, N. V. CHUESHOVA^a, M. A. BAKSHAYEVA^a,
A. E. KAZLOU^a, E. V. TSUKANOVA^a, V. I. SHALATONIN^b**

^a*Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
Fedyunskogo street, 4, 246007, Gomel, Belarus*

^b*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki street, 6, 220013, Minsk, Belarus*

Corresponding author: shalatonin@bsuir.by

We studied the influence of the isolated and combined action of external irradiation at the dose of 1,0 Gy (source – ^{137}Cs , dose rate 46 cGy/min) and magnetic field of the industrial frequency (50 Hz, 0.4 mT, 4 hours/day, 5 days/week, number of days of exposure – 28) on the condition of the reproductive system of male Wistar rats at different times after exposure.

A decrease in the testes weight after external irradiation, disintegration of the spermatogenesis process, a decrease in the glutathione content and an increase in the activity of the GPO in the testis tissue, a significant deterioration of the quantitative and qualitative indices of epididymal spermatozoa, an increase in the necrotic and programmed sperm death after these effects. The combined effect of external irradiation (1,0 Gy) and MP IF (50 Hz) is accompanied by a modification of the action of each of them and in some cases led to effects exceeding the effect of each of them separately. Changes in the studied indicators indicate a high sensitivity of the reproductive system of males to the studied anthropogenic factors of the environment.

Key words: male rats reproductive systems; external irradiation at a dose of 1,0 Gy; MP of IF (50 Hz); relative mass; spermatogenesis; epididymal spermatozoa; quantity cells; viability; apoptosis; necrosis; fructose; glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH); acrosyn; glutathione; glutathione peroxidase (GPO).

Введение

За последние годы существенно обострилась демографическая ситуация, вызванная рядом причин, в том числе неуклонным повышением репродуктивной патологии. Этот рост обусловлен ухудшением состояния мужской репродуктивной системы и связан преимущественно с уменьшением активности сперматогенеза [1; 2], которое в большей степени характерно для наиболее развитых индустриальных стран. Нормы показателей спермограммы, которые периодически пересматриваются ВОЗ, показывают их существенное снижение за последние десятилетия [3].

Среди этиологических факторов, вызывающих мужское бесплодие, практически всеми исследователями выделяются воздействия факторов внешней среды, стресс, а также роль различных общих заболеваний, приводящих в дальнейшем, зачастую вследствие интенсивной терапии, к развитию infertility [4]. Ионизирующие и неионизирующие излучения, которые обладают высокой биологической активностью, являются распространенными физическими факторами. Особенно быстрыми темпами

происходит повышение электромагнитного загрязнения, вызванного введением новых искусственных источников ЭМП различных диапазонов.

В реальной обстановке действие антропогенных факторов окружающей среды носит преимущественно комбинированный или сочетанный характер, что приводит к сложным взаимодействиям повреждающих агентов, влияющих на суммарный эффект [5]. Экспериментальные исследования на животных позволяют определить особенности репродуктивной токсичности действующих антропогенных факторов и установить закономерности их повреждающего действия.

Цель работы – изучение биологических эффектов в репродуктивной системе крыс-самцов Вистар, подвергнутых внешнему облучению в дозе 1,0 Гр и последующему продолжительному воздействию магнитным полем промышленной частоты (МП ПЧ, 50 Гц, 0,4 мТ) изолированно и сочетанно в различные сроки после воздействий.

Материалы и методы исследования

Исследования выполняли на крысах-самцах линии Вистар (исходный возраст 4 мес., масса $361,36 \pm 4,42$ г), находившихся на стандартном пищевом рационе вивария и имевших свободный доступ к питьевой воде. Контролем служили животные аналогичного возраста и пола, содержавшиеся в таких же условиях.

Все животные были разделены на 4 группы: 1. Интактный контроль. 2. Животные, подвергнутые воздействию МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТ, 4 часа/день, 5 дней/неделю, количество дней экспозиции – 28). 3. Крысы, облученные в дозе 1,0 Гр (источник – ^{137}Cs , м. д. 46 сГр/мин). 4. Животные, облученные в дозе 1,0 Гр, а затем таким образом подвергнутые длительному воздействию МП ПЧ, как сказано выше.

Источник синусоидального магнитного поля с частотой 50 Гц, с величиной магнитной индукции (плотности магнитного потока) равной 0,4 мТ (санитарная норма для человека до 5 мкТл) [6] состоит из двух рядом расположенных одинаковых радиальных катушек (катушки Гельмгольца), соединенных последовательно таким образом, чтобы обеспечить в них одинаковое направление тока. Расстояние между центрами катушек примерно равно их радиусу. Это позволяет обеспечить наибольшую однородность магнитного поля в рабочей зоне установки. Рабочая зона с магнитным полем, действующим на объект исследования, формируется между центрами катушек ($50 \times 50 \times 50$ см).

Оценку состояния репродуктивной системы крыс-самцов проводили на 1-е и 30-е сут. после экспозиции в МП ПЧ, а по отношению к облучению в дозе 1,0 Гр – на 40-е и 70-е сут. соответственно. Предварительно взвешенных животных подвергали декапитации, выделяли семенники с придатками (эпидидимисы) и семенные пузырьки, массу которых оценивали с последующим расчетом их относительной массы. В суспензии ткани одного из семенников методом проточной цитометрии (Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) анализировали количественный состав популяции сперматогенных клеток по содержанию ДНК, в том числе сперматогонии (2С), сперматоциты в S-фазе (прелептотенные сперматоциты), сперматоциты I порядка (4С), круглые (1С), удлинённые (НС1) и продолговатые сперматиды (НС2) [7]. Ткань второго семенника использовали для получения цитозольной фракции [8], в которой определяли концентрацию восстановленного глутатиона флуориметрическим методом с использованием о-фталевого диальдегида [9], активность глутатионпероксидазы, а концентрацию общего белка анализировали по [10]. В качестве стандарта использовался бычий сывороточный альбумин. В сперматозоидах, выделенных из эпидидимиса, подсчитывали количество клеток, их жизнеспособность, индекс DFI (фрагментация ДНК), число апоптотических и некротических клеток, активность глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (ГФДГ), акрозина и содержание фруктозы в семенных пузырьках [11].

Для обработки и статистического анализа полученных данных применяли пакеты программ STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc., USA), GraphPad Prism 5. В качестве критерия однородности применялся двухфакторный дисперсионный анализ (two-way ANOVA). Для проведения апостериорных сравнений в рамках конкретных дисперсионных комплексов использовали критерий Тьюки (Tukey's test). Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В начальном периоде после экспозиции МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТ) относительная масса семенников животных не отличается от контроля, в то время как острое облучение (1,0 Гр) и сочетанное влияние двух антропогенных факторов (1,0 Гр + МП ПЧ, 50 Гц) приводит к статистически значимому падению этого показателя (на 33,7 и 26,4 % соответственно, по сравнению с контролем), указывая на значительную гибель тестикулярной ткани (рис. 1).

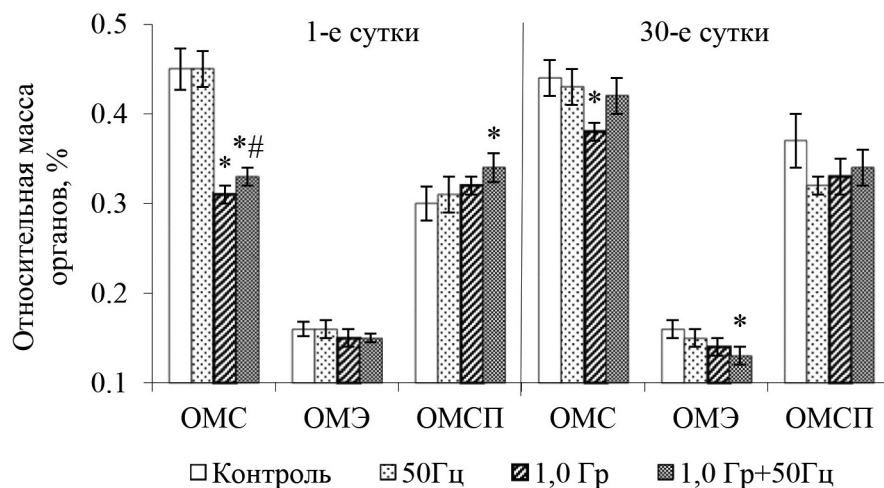


Рис. 1. Изменение относительной массы органов репродуктивной системы крыс-самцов в различные сроки после острого внешнего облучения в дозе 1,0 Гр, экспозиции в МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их сочетанного воздействия

Примечания: по отношению к группе облучения в дозе 1,0 Гр – 40-е и 70-е сут.;
* – достоверно к контролю, # – достоверно к группе 50 Гц при $p < 0,05$.

Fig. 1. The change in the relative mass of organs of the reproductive system of male rats at different times after acute external irradiation at a dose of 1.0 Gy, exposures in the MP of the IF (50 Hz, 0.4 mT, 4 hours/day, 5 days a week, 28 days) and their combined effects

Note: in relation to the irradiation group in a dose of 1.0 Gy – 40th and 70th day;
* – authentically to the control, # – authentically to the 50 Hz group with $p < 0.05$.

Значимых изменений относительной массы эпидидимисов при влиянии всех исследуемых антропогенных факторов не отмечается, а данный показатель для семенных пузырьков повышается на 10,9 % при действии МП ПЧ и на 19,7 % – при сочетанном воздействии ионизирующей радиации (1,0 Гр) и электромагнитной экспозиции (50 Гц).

В отдаленном периоде относительная масса семенников частично восстанавливается, но не достигает значений контроля после внешнего облучения и сочетанного действия двух факторов, а относительная масса эпидидимисов и семенных пузырьков в этот период имеет тенденцию к снижению при всех воздействиях.

Количественный анализ состава популяции сперматогенных клеток различных этапов дифференцировки на 1-е сутки после воздействия МП ПЧ и после внешнего облучения (40-е сут) и их комбинированного влияния, указывает на значительную дезинтеграцию процесса сперматогенеза, которая выражается в стимуляции начального этапа сперматогенеза и характеризуется увеличением количества сперматогоний, прелептотенных сперматоцитов и сперматоцитов 1-го порядка (табл. 1). Однако это увеличение носит достоверный характер только для сперматогоний (+18,8 %) при сочетанной экспозиции внешнего облучения и МП ПЧ и прелептотенных сперматоцитов (+37,0 %) после внешнего облучения. В последнем случае необходимо учитывать, что оценка действия внешнего облучения анализировалась на 40-е сутки после воздействия.

Последующие стадии сперматогенеза (постмейотические) характеризуются повышением числа округлых сперматид при экспозиции МП ПЧ (на 18,8 %) и удлинённых сперматид (на 58,2 и 34,2 %, в группах 1,0 Гр и 1,0 Гр+МП ПЧ соответственно), однако на стадии продолговатых сперматид выявляется статистически значимое падение числа этих клеток от 20,3 до 24,6 % при всех воздействиях по сравнению с контролем. Последнее отражается на продукции спермиогенеза, которая снижается, что подтверждается при анализе количества эпидидимальных сперматозоидов у экспериментальных животных.

В отдаленном периоде при действии исследуемых факторов на изучаемые показатели процесса сперматогенеза сохраняются значительные нарушения, имеющие менее существенный характер при изолированном воздействии МП ПЧ (50 Гц), но более выраженные при сочетанном действии внешнего облучения 1,0 Гр и МП ПЧ (50 Гц). Например, в этой группе число круглых сперматид достоверно повышается на 39,9 %, а количество удлинённых сперматид падает до 49,9 % по сравнению с контролем.

Следовательно, изучение процесса сперматогенеза в различные сроки после воздействия внешнего облучения в дозе 1,0 Гр и экспозиции МП ПЧ (50 Гц) изолированно и сочетанно показало, что их действие приводит не только к дезинтеграции процесса, но также к значительному снижению его интенсивности.

Данные о содержании глутатиона и активности ГПО в ткани семенника (цитозольная фракция) крыс на 1-е и 30-е сут. после изолированного и комбинированного действия внешнего облучения в дозе 1,0 Гр и последующей экспозиции МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) представлены в табл. 2. Показано, что при всех видах воздействия уровень глутатиона на 1-е и 30-е сут. значительно падает ($p < 0,05$). Так, на 1-е сут. после экспозиции МЧ ПЧ (50 Гц) и внешнего облучения в дозе 1,0 Гр изолированно и сочетанно концентрация глутатиона в ткани семенника снижается в пределах от 13 до 28 % от контрольных значений. Более значительные изменения этого показателя ($-27,9\%$) выявляются после радиационного воздействия (1,0 Гр). Учитывая, что в этом случае данный показатель анализировался на 40-е сут. после облучения, следует отметить длительное нарушение содержания глутатиона в тестикулярной ткани. В отдаленном периоде его уровень остается на сниженном уровне, однако его изменение ($-11,5\%$) имеет статистически значимый характер только после облучения животных в дозе 1,0 Гр.

Таблица 1

Изменение количественного состава популяций сперматогенных клеток тестикулярной ткани крыс-самцов в различные сроки после острого внешнего облучения в дозе 1,0 Гр, экспозиции в МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их сочетанного влияния

Table 1

The change in the quantitative composition of the populations of spermatogenic cells of the testis tissue of male rats at different times after acute external irradiation at a dose of 1.0 Gy, exposure in MP IF (50 Hz, 0.4 mT, 4 h/day, 5 days a week, 28 days) and their combined effects

Сперматогенные клетки, %	Контроль	50 Гц	1,0 Гр**	1,0 Гр +50 Гц
1-е сутки				
2С	7,22±0,48	8,48±1,06	7,41±0,17	8,58±0,29 ^{*#^}
S-phasa	1,73±0,08	1,93±0,19	2,37±0,19*	1,79±0,12 [^]
4С	3,19±0,69	4,75±0,44	4,06±0,31	4,41±0,40
1С	33,27±1,19	39,54±1,05*	30,04±2,18	31,79±1,30
HC1	18,37±0,80	16,84±1,23	29,06±2,14*	24,65±1,85 ^{*#}
HC2	35,70±0,52	26,94±0,53*	26,39±1,33*	28,44±1,27 ^{*#}
30-е сутки				
2С	7,46±0,41	8,06±0,36	8,58±0,26*	9,06±0,55*
S-phasa	2,58±0,20	2,31±0,09	2,37±0,16	2,65±0,18
4С	7,22±0,78	6,99±0,49	7,84±0,53	8,60±0,53 [#]
1С	37,70±2,70	43,63±2,13	46,77±0,90*	52,76±1,45 ^{*#^}
HC1	39,39±2,95	34,16±1,98	27,50±1,21*	19,64±1,96 ^{*#^}
HC2	5,04±0,46	4,15±0,68	5,56±0,49	6,01±1,10

Примечания: 2С – сперматогонии; S-phasa – сперматоциты в прелептотене; 4С – сперматоциты I порядка, 1С – круглые, HC1 удлиненные и HC2 и продолговатые сперматиды; ** – 40-е и 70-е сут. после облучения в дозе 1,0 Гр; * – достоверно к контролю, # – достоверно к группе 50 Гц, ^ – достоверно к группе 1,0 Гр при $p < 0,05$.

Note: 2С – spermatogonia; cells in S-phase – spermatocytes in preleptotene; 4С – primary spermatocytes, 1С – round, HC1 elongating and HC2 and elongated spermatids; ** – 40th and 70th days after irradiation in a dose of 1.0 Gy; * – authentically to the control, # – authentically to the 50 Hz group, ^ – significantly to the group of 1,0 Gy at $p < 0,05$.

Активность глутатионпероксидазы (ГПО) в тестикулярной ткани экспериментальных животных в начальном периоде достоверно увеличивается, достигая максимальных значений при внешнем облучении (1,0 Гр), на повышенном уровне активность этого фермента остается и на 30-е сут. после всех воздействий, но достоверный характер имеет только после внешнего облучения в дозе 1,0 Гр.

Как известно, восстановленный глутатион является мощным биоантиоксидантом. Этот трипептид, имея в своем составе активные группы (NH_2 , SH_2 и др.), участвует в глутамильном цикле, окислении серы, а ГПО – в разрушении перекиси водорода [12]. По мнению [13], содержание глутатиона и активность ферментов его метаболизма в тканях во многом определяют статус организма после ионизирующего излучения. Судя по полученным нами данным, этот вывод можно отнести и к другим видам антропогенного воздействия на тестикулярную ткань в отношении этих показателей. Выявленные изменения в различные сроки после внешнего облучения в дозе 1,0 Гр и МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТ) указывают на выраженную специфическую реакцию глутатиона и ГПО в ткани семенника.

Изменение содержания глутатиона и активности глутатионпероксидазы в ткани семенника крыс в различные сроки после острого внешнего облучения в дозе 1,0 Гр, экспозиции в МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их сочетанного влияния

Table 2

The change in the glutathione content and activity of glutathione peroxidase in the testis tissue of rats at different times after acute external irradiation at a dose of 1.0 Gy, exposure in MP IF (50 Hz, 0.4 mT, 4 h/day, 5 days a week, 28 days) and their combined effects

Исучаемые показатели	Серии опытов			
	Контроль	50 Гц	1,0 Гр**	1,0 Гр +50 Гц
1-е сутки				
Глутатион, мкмоль	23,11±1,09	20,11±0,89*	16,68±0,92*	17,49±1,39*
ГПО, мкмоль/мин* г белка	154,14±1,56	173,13±3,66*	192,62±2,67*	188,32±1,71*
30-е сут				
Глутатион, мкмоль	21,20±0,61	19,96±0,47	18,76±0,85*	19,48±0,68
ГПО, мкмоль/мин* г белка	170,21±1,06	176,84±1,47	190,21±1,82*	178,31±2,48

Примечания: ГПО – глутатионпероксидаза; ** – 40-е и 70-е сут после облучения в дозе 1,0 Гр; * – достоверно по отношению к контролю при $p < 0,05$.

Note: GPO is glutathione peroxidase; ** – 40th and 70th days after irradiation in a dose of 1.0 Gy; * – is significant relative to control at $p < 0,05$.

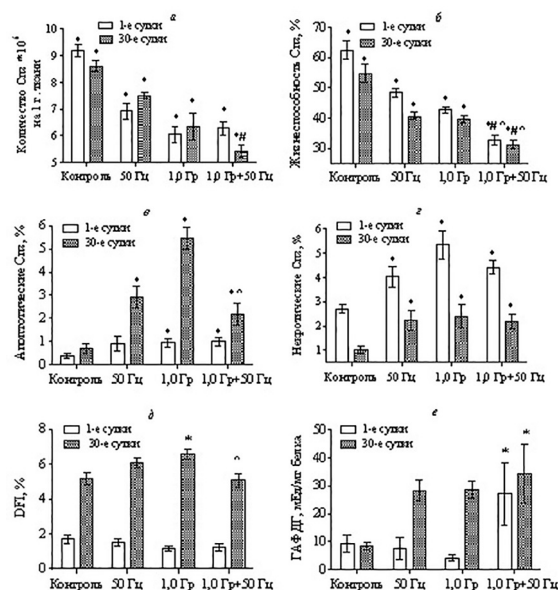


Рис. 2. Изменение количества (а), жизнеспособности (б), апоптотических (в) и некротических (г) сперматозоидов (Спз), а также анализ спермального хроматина (д, индекс фрагментации ДНК) и активности ГАФДГ (е) в зрелых половых клетках, выделенных из эпидидимисов крыс в различные сроки после острого внешнего облучения в дозе 1,0 Гр, экспозиции в МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их сочетанного воздействия

Примечания: по отношению к группе облучения в дозе 1,0 Гр – 40-е и 70-е сут.;

* – достоверно к контролю, # – достоверно к группе 50 Гц ^ – достоверно к группе 1,0 Гр при $p < 0,05$.

Fig. 2. The change in the number of (a), viability (b), apoptotic (в) and necrotic (d) spermatozoa (Spz), as well as analysis of sperm chromatin (d, DNA fragmentation index) and activity of GAPD (e) in mature sex cells, isolated from epididymis of rats at different times after acute external irradiation at a dose of 1.0 Gy, exposures in the MP of the IF (50 Hz, 0.4 mT, 4 hours/day, 5 days a week, 28 days) and their combined effects

Note: in relation to the irradiation group in a dose of 1,0 Gy – 40th and 70th day;

* – authentically to the control, # – authentically to the group of 50 Hz ^ – trustible to the group of 1,0 Gy at $p < 0,05$.

Анализируя количественные и качественные показатели эпидидимальных сперматозоидов после изолированного и сочетанного действия внешнего облучения в дозе 1,0 Гр и МП ПЧ (50 Гц), отмечается значительное ухудшение их свойств. Во всех исследуемых группах в начальном периоде после воздействий продукция половых клеток достоверно снижается (в пределах 22,4–32,9 %). Значительная

потеря сперматозоидов, выделенных из эпидидимиса, обнаруживается после внешнего облучения в дозе 1,0 Гр, что подтверждается также падением относительной массы семенников (рис. 2, а). Сниженное количество клеток остается и в отдаленном периоде, и их максимальное падение ($-37,16\%$, $p < 0,05$) наблюдается при сочетанном действии исследуемых факторов (1,0 Гр+МП ПЧ 50 Гц).

При всех видах изучаемых антропогенных воздействий выявляется выраженное ухудшение жизнеспособности эпидидимальных сперматозоидов, которое достигает минимальных значений при последовательной экспозиции ионизирующего и затем неионизирующего излучения ($-47,4\%$ – на 1-е и $-43,0\%$ – на 30-е сут.).

У экспонированных животных значительно повышается гибель зрелых половых клеток как путем апоптоза, так и путем некроза. Высокий уровень некротической гибели эпидидимальных сперматозоидов характерен для начального периода (1-е сут) после действия антропогенных факторов, а их программированная гибель – для отдаленного периода (30-е сут.), особенно значительно после внешнего облучения в дозе 1,0 Гр, достигая в этом случае $758,33\%$ от контроля (рис. 2, в, г).

Не выявлено существенного влияния антропогенных факторов (ионизирующее излучение в дозе 1,0 Гр и МП ПЧ, 50 Гц) на индекс DFI, отражающий целостность структуры молекулы ДНК, за исключением его достоверного повышения в отдаленном периоде при внешнем облучении в дозе 1,0 Гр (рис. 2, д).

Уровень фруктозы в семенных пузырьках экспериментальных крыс всех групп имеет тенденцию к повышению, активность ГАФДГ – к снижению, однако при сочетанном действии 1,0 Гр+МП ПЧ (50 Гц) она резко возрастает (в четыре раза), а активность акрозина изменяется незначительно (рис. 2, е).

Изучение количественных и качественных показателей эпидидимальных сперматозоидов крыс, подвергнутых изолированному и сочетанному действию внешнего облучения (1,0 Гр) и экспозиции МП ПЧ (50 Гц), выявило значительное ухудшение и низкий уровень их восстановления в различные сроки после воздействия, что, в свою очередь, негативно отразится на оплодотворяющей способности животных.

Заключение

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что внешнее облучение в дозе 1,0 Гр, длительная экспозиция МП ПЧ (50 Гц) в отдельности и совместно вызывают выраженные нарушения изучаемых показателей репродуктивной системы крыс-самцов в начальном и отдаленном периодах. Несмотря на минимальные изменения изучаемых показателей при экспозиции МП ПЧ, сочетанное действие этого фактора с внешним облучением (1,0 Гр) сопровождалось модификацией действия каждого из них и в ряде случаев влияло на процесс сперматогенеза и спермиогенеза, количественные и качественные показатели эпидидимальных сперматозоидов эффекты, превышающее влияние каждого из изучаемых антропогенных факторов в отдельности.

Падение содержания глутатиона и повышение активности ГПО в ткани семенника позволяют сделать предположение о развитии в тестикулярной ткани выраженного окислительного стресса, приводящего к возникновению адаптивного ответа организма и необходимости рассматривать изменение этих показателей в качестве чувствительных биохимических индикаторов нарушений в исследуемой ткани при действии антропогенных факторов внешней среды.

Выявленные закономерности изменений относительной массы семенников, процесса сперматогенеза, содержание глутатиона и активности ГПО в ткани семенника, количество и качество эпидидимальных сперматозоидов объективно свидетельствуют о высокой чувствительности репродуктивной системы самцов к изолированному и сочетанному действию исследуемых антропогенных факторов окружающей среды, ухудшение которых приведет к снижению фертильности животных.

Библиографический список

1. Carlsen E., Giwercman A., Keiding N., et al. Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years // Br. Med. J. 1992. Vol. 305, № 305. P. 609–613.
2. Сухих Г. Т., Божедомов В. А. Мужское бесплодие. М., 2009.
3. Курило Л. Ф., Макарова Н. П. Руководство по проведению исследования и оценке эякулята человека. ВОЗ, Пятое издание, 2010: Что нового? // Андрол. и генит. хирургия. 2010. № 4. С. 10–13.
4. Потемина Т. Е. Сравнительные эколого-физиологические особенности мужской репродуктивной системы в условиях стрессогенной напряженности : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 03.00.13, 14.00.16; Рос. ун-т дружбы народов. М., 2007.
5. Петин В. Г., Дергачева И. П., Жураковская Г. П. Комбинированное биологическое действие ИИ и других вредных факторов окружающей среды (научный обзор) // Радиация и риск (Бюл. Нац. радиац.-эпидемиолог. регистра). 2001. № 12. С. 117–134.

6. СанПин 000127-25392 № 69-2010 «Гигиенические требования к электромагнитным полям в производственных условиях».
7. Suresh R., Aravindan G. R., Moudgal N. R. Quantitation of spermatogenesis by DNA flow cytometry: comparative study among six species of mammals / R. Suresh, // *J. of Biosci.* 1992. Vol. 17, № 4. P. 413–419.
8. Попов Е. Г. Андрогены, андроген-специфичные белки и ионизирующая радиация. Минск, 2013.
9. Green R. M., Graham M., O'Donovan M. R., et al. Subcellular compartmentalization of glutathione: Correlations with parameters of oxidative stress related to genotoxicity // *Mutagenesis*. 2006. Vol. 21, № 6. P. 336–340.
10. Современные проблемы биохимии: Методы исследований / под ред. А. А. Чиркина. Минск, 2013.
11. Верещако Г. Г., Чернова Н. В., Туканова Е. В. и др. Радиационное поражение сперматогенных клеток и эпидидимальных сперматозоидов крыс линии Вистар после внешнего облучения // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук*. 2017. № 2. С. 40–45.
12. Кулинский В. И., Колесниченко Л. С. Система глутатиона I: синтез, транспорт глутатионтрансферазы, глутатионпероксидазы // *Биомед. химия*. 2009. Т. 55, вып. 3. С. 255–277.
13. Лукьяненко А. И. Пострадиационные изменения содержания глутатиона и активности ферментов его метаболизма в мозгу, печени и легких крыс // *1 Всесоюз. радиобиол. съезд, Москва, 21–27 авг. 1989* : тез. докл. Пушино, 1989.

References

1. Carlsen E., Giwercman A., Keiding N., et al. Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years // *Br. Med. J.* 1992. Vol. 305, No. 6854. P. 609–613.
2. Suhih G. T., Bozhedomov V. A. Male infertility. Moscow, 2009 (in Russ.).
3. Kurilo L. F., Makarova N. P. Guidelines for conducting research and evaluation of human ejaculate. WHO, Fifth Edition, 2010: What's new? *Androl. and Genit. Surg.* 2010. No. 4. P. 10–13 (in Russ.).
4. Potemina T. E. Comparative ecological and physiological features of the male reproductive system in conditions of stressful tension. Moscow: Rossijskij universitet druzhby narodov, 2007 (in Russ.).
5. Petin V. G., Dergacheva I. P., Zhurakovskaja G. P. Combined biological effect of AI and other harmful environmental factors (scientific review). *Radiat. and Risk (Bul. of the Nation. Radiat. and Epidem. Reg.)*. 2001. No. 12. P. 117–134 (in Russ.).
6. СанПин 000127-25392 № 69 – 2010 «Hygienic requirements for electromagnetic fields in production conditions» (in Russ.).
7. Suresh R., Aravindan G. R., Moudgal N. R. Quantitation of spermatogenesis by DNA flow cytometry: comparative study among six species of mammals. *J. of Biosci.*, 1992. Vol. 17, No. 4. P. 413–419. DOI: 10.1007/BF02720096.
8. Popov E. G. Androgens, androgen-specific proteins and ionizing radiation: monograph. Minsk, 2013 (in Russ.).
9. Green R. M., Graham M., O'Donovan M. R., et al. Subcellular compartmentalization of glutathione: Correlations with parameters of oxidative stress related to genotoxicity. *Mutagenesis*. 2006. Vol. 21, No. 6. P. 336–340. DOI:10.1093/mutage/gel043.
10. Chirkin A. A. (ed) Modern problems of biochemistry: Methods of research. Minsk, 2013 (in Russ.).
11. Vereschako G. G., Chueshova N. V., Tsukanova E. V., et al. Radiation damage of spermatogenic cells and epididymal spermatozoa of Wistar rats after external irradiation. *News of the Nat. Acad. of Scien. of Belarus. Theory of Biol. Sci.* 2017. No. 2. P. 40–45 (in Russ.).
12. Kulinsky V. I., Kolesnichenko L. S. System of glutathion I: synthesis, transportation, glutathiontransferase, glutathione peroxides. *Biomed. chem.* 2009. Vol. 55, isseu 3. P. 255–277 (in Russ.).
13. Lukyanenko A. I. Post-radiation changes in glutathione content and enzyme activity of its metabolism in the brain, liver and lungs of rats. *1 All-Union Radiobiological Congress: thesis. doc.* Moscow, 21–27 Aug. 1989, Pushchino, 1989 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 01.06.2017
Received by editorial board 01.06.2017

УДК 577.3'32/36;577.334

Zn-ДЕФИЦИТНЫЕ СОСТОЯНИЕ В ЭРИТРОЦИТАХ ЧЕЛОВЕКА IN VITRO И СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Ю. М. ГАРМАЗА¹⁾, А. В. ТАМАШЕВСКИЙ¹⁾

¹⁾ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси»,
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь

Установлено, что инкубация эритроцитов человека с внутриклеточным хелатором – N',N'-тетраakis-(2-пиридил-метил)-этилендиамином (TPEN) в субгемолитических концентрациях приводит к достоверному снижению внутриклеточного пула Zn²⁺ и увеличению эстеразной активности клеток. Продемонстрировано, что одним из возможных механизмов развития окислительного стресса в эритроцитах человека в условиях дефицита цинка является ингибирование активности основных ферментов антиоксидантной защиты – каталазы и глутатионпероксидазы и изменение концентрации восстановленного глутатиона. Выявлено, что именно ингибирование фермента глутатионпероксидазы вносит вклад в активацию эритроцитарных эстераз в условиях дефицита ионов цинка. Обнаруженное усиление экспрессии цистеин-обогащенных белков металлотионеинов в эритроцитах человека при моделировании Zn-дефицитного состояния *in vitro* подтверждает предположение о функционировании данных белков в качестве вспомогательного антиоксиданта в защитной системе клеток.

Ключевые слова: эритроциты человека; дефицит цинка; редокс-статус; лабильный пул цинка; эстеразная активность; антиоксидантная система; металлотионеины.

Образец цитирования:

Гармаза Ю. М., Тамашевский А. В. Zn-дефицитные состояние в эритроцитах человека *in vitro* и свободнорадикальные процессы // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 54–63.

For citation:

Harmaza Yu. M., Tamashevski A. V. Zn-deficient states in human erythrocytes *in vitro* and free radical processes. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 55–63 (in Russ.).

Авторы:

Юлия Михайловна Гармаза – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории медицинской биофизики.

Александр Владимирович Тамашевский – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории медицинской биофизики.

Authors:

Yuliya M. Harmaza, PhD (biological); senior researcher of the laboratory of medical biophysics.

garmaza@yandex.ru

Alexander V. Tamashevski, PhD (biological); senior researcher of the laboratory of medical biophysics.

tayzoe@mail.ru

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант Б14М-066.

Авторы выражают благодарность научному сотруднику, кандидату биологических наук Г. П. Зубрицкой и младшему научному сотруднику А. Г. Кутько в проведении исследований по оценке активности ферментов системы антиоксидантной защиты эритроцитов.

Zn-DEFICIENT STATES IN HUMAN ERYTHROCYTES *IN VITRO* AND FREE RADICAL PROCESSES

Y. M. HARMAZA^a, A. V. TAMASHEVSKI^a

^a*Institute of biophysics and cell engineering of National academy of sciences of Belarus,
Akademicheskaya street, 27, 220072, Minsk, Belarus*

Corresponding author: garmaza@yandex.ru

It was established that incubation of human erythrocytes with an intracellular chelator N',N'-tetrakis(2-methyl-pyridyl)ethylenediamine (TPEN) in subhemolytic concentrations leads to a significant decrease in the Zn²⁺ intracellular pool and cells esterase activity rise. It was demonstrated that one of the possible mechanisms of an oxidative stress development in zinc deficient human erythrocytes is the inhibition of the main antioxidant enzymes activity – catalase and glutathione peroxidase as well as changes in the reduced glutathione concentration. It was found that decreased glutathione peroxidase activity exactly contributes to the erythrocyte esterases activation under zinc ions deficiency. An increased expression of the cysteine-rich proteins metallothioneins in human erythrocytes under simulation of the Zn-deficient state *in vitro* was revealed. It confirms the hypothesis about the functioning of these proteins as an auxiliary antioxidant in a protective cell system.

Key words: human erythrocytes; zinc deficiency; redox-state; zinc labile pool; esterase activity; antioxidant system; metallothioneins.

Acknowledgements. The article is prepared with the support of Belarusian Republican Foundation for fundamental research, grant Б14М-066.

The authors are grateful to a researcher, PhD (biology) Zubritskaya G. P. and a junior researcher Kutko A. G. for conduction of researches on evaluation of enzyme activity of the system of antioxidant erythrocyte protection.

Введение

Известно, что цинк является единственным ионом среди переходных металлов, который не имеет биологической окислительно-восстановительной активности. Именно отсутствие редокс-активности, наряду с его относительно сильным сродством к белкам, позволили цинку стать подходящим ионом в качестве структурного кофактора [1]. Из 2800 белков, содержащих Zn-связывающие участки, более 800 являются ферментами, которые принадлежат ко всем классам – гидролазы, лигазы, трансферазы, оксидоредуктазы и лиазы/изомеразы (алкогольдегидрогеназа, Cu/Zn-СОД, карбоксипептидаза и др.) [2]. Также цинк является компонентом многих транскрипционных факторов, сигнальных белков, «цинковых пальцев» неизвестной функции [2]. Во всех металлоферментах цинк выполняет три основные функции: участие в каталитических процессах, поддержание структурной стабильности и регуляцию [3].

Распространенность цинка во внутриклеточном метаболизме указывает на то, что он принимает участие во многих жизненно важных процессах, а негативные последствия нарушения цинкового гомеостаза свидетельствуют о важности этого микроэлемента для организма. Первое концептуальное подтверждение появилось в 1961 г. вместе с гипотезой, что дефицит цинка был главным фактором в пищевом синдроме, описанном в странах Среднего Востока [4]. В 1974 г. в ходе фенотипической экспрессии редкого аутосомно-рецессивного наследственного заболевания – энтеропатического акродерматита, был обнаружен дефект в метаболизме цинка [5]. ZIP4, который кодирует белки-транспортёры ионов цинка ZIP/SLC39 и экспрессируется в кишечнике, был в дальнейшем идентифицирован как ген, ответственный за развитие данного заболевания. Этот факт явился генетическим доказательством того, что цинк, абсорбированный в кишечнике, имеет огромное физиологическое значение [6].

Так как дефицит цинка в организме человека чаще всего является проблемой питания и сопровождается многие хронические заболевания, было проведено большое количество исследований, в которых оценили влияние недостаточности цинка на функционирование иммунной системы как на клеточном,

так и на молекулярном уровнях [7]. Наиболее очевидной взаимосвязью между дефицитом ионов цинка и развитием заболеваний считается функция Zn^{2+} как антиоксиданта [8].

Проведенные исследования продемонстрировали, что дефицит цинка сопровождается увеличением продукции активных форм кислорода (АФК), но большинство из них были сфокусированы на недостатке этих ионов в клеточных культурах. Так, ученые [9] свидетельствуют, что рост клеточной линии мышей 3Т3 в условиях низкого содержания Zn^{2+} сопровождается усиленной продукцией АФК. Схожие результаты представлены в работе [10] – содержание АФК оказалось повышенным в Zn-дефицитных клетках глиомы крыс С6, что сопровождалось усиленным повреждением ДНК. Авторы заключили, что эффекты такого повреждения, вероятнее всего, являлись последствием потери ключевых ДНК-репарирующих механизмов. Гиперпродукция АФК и сопутствующие последствия (повреждение ДНК) были обнаружены и у экспериментальных животных в условиях Zn-дефицитной диеты. При субоптимальной цинковой диете добровольцев также выявили схожие изменения [11]. Все результаты исследований доказывают, что снижение концентрации ионов цинка в организме человека приводит к развитию окислительного стресса. Однако до сих пор первоначальный источник окислительного стресса при дефиците цинка остается неизвестным. Лишь в 2009 г. появились первые работы, выполненные на нейрональных клетках, в которых выдвинуто предположение, что одним из возможных механизмов продукции АФК при Zn-дефицитном состоянии является повышение активности мембраносвязанного фермента NADPH-оксидазы [12; 13].

Цель работы – оценить редокс-статус эритроцитов человека (активность ключевых антиоксидантных ферментов – глутатионпероксидазы и каталазы, содержание низкомолекулярного антиоксиданта глутатиона и низкомолекулярных цистеин-содержащих белков металлотионеинов) при моделировании состояния дефицита ионов цинка в клетках *in vitro* и выяснить возможные пути развития окислительного стресса при этих условиях.

Материалы и методы исследования

В работе использована периферическая кровь практически здоровых доноров, полученная из ГУ «Республиканский научно-практический центр трансфузиологии и медицинских биотехнологий» Министерства здравоохранения Республики Беларусь. В качестве консерванта был использован гепарин.

Эритроциты отделяли от плазмы путем центрифугирования крови при 1500 g в течение 15 мин и трижды отмывали в изотоническом растворе NaCl (155 mM). Инкубацию эритроцитов (0,1%-ый гематокрит) с внутриклеточным хелатором цинка – N',N'-тетраakis-(2-пиридил-метил)-этилендиамин (TPEN) и внеклеточным хелатором – диэтилен тридиаминпентауксусная кислота (ДТРА) в концентрациях 10–100 мкМ проводили при 37 °C в течение 30 или 60 мин в 10 mM трис-HCl буфере (pH 7,4), содержащем 0,155 mM NaCl.

Оценку внутриклеточной концентрации лабильного пула ионов цинка проводили с использованием флуоресцентного зонда FluoZin-3-AM [14]. За 100 % принимали значения интенсивности флуоресценции FluoZin-3 в интактных эритроцитах.

Внутриклеточную эстеразную активность оценивали с использованием флуоресцирующего красителя кальцеина-AM согласно методу [15]. За 100 % принимали значения интенсивности флуоресценции кальцеина в интактных эритроцитах.

Содержание восстановленного глутатиона (GSH), активность ферментов антиоксидантной защиты: глутатионпероксидазы и каталазы определяли спектрофотометрически по методам [16–18] соответственно.

Оценку содержания металлотионеинов в эритроцитах проводили с помощью моноклональных антител UC1MT (Abscam), а в качестве изотипического контроля был использован IgG1 [19].

Флуоресцентные измерения проводились на проточном цитофлуориметре FACSCanto II (Becton Dickinson), а фотометрические на спектрофотометре M40 (Specord, Германия).

Результаты экспериментов анализировали методом вариационной статистики с использованием непараметрических критериев Уилкоксона и Спирмена (r_s) в программе STATISTICA 8.0. В работе представлены средние значения 4–6 независимых экспериментов в виде $x_{cp} \pm s_x$, где x_{cp} – среднее значение, s_x – стандартное отклонение. Достоверными (*) считали различия по сравнению с интактными эритроцитами (контроль) при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для моделирования Zn-дефицитного состояния в эритроцитах человека *in vitro* были выбраны хелаторы двух типов: мембранопроницаемый (внутриклеточный) хелатор TPEN, который обладает высокой аффинностью к ионам цинка (Zn^{2+}) ($3,8 \cdot 10^{15} M^{-1}$) и мембранонепроницаемый (внеклеточный) хелатор –

ДТРА. Специфичность ТРЕН к ионам цинка была продемонстрирована ранее на различных клетках и клеточных культурах путем изучения конкуренции с экзогенным Zn^{2+} и другими двухвалентными металлами [20].

Оценка изменения цитозольной концентрации лабильного пула цинка в эритроцитах человека после инкубации с внутриклеточным хелатором ТРЕН в концентрациях 10, 25, 50 и 100 мкМ выявила статистически достоверное дозозависимое его снижение (рис. 1, а). Полученный эффект зависел также от времени инкубации с ТРЕН – если после 30-минутного выдерживания эритроцитов с хелатором внутриклеточное содержание Zn^{2+} снижалось в среднем на 10–50 %, то после 60 мин – на 15–85 %, по отношению к контрольным клеткам (клетки, нагруженные FluoZin-3-АМ, но не обработанные ТРЕН) (рис. 1а). При проведении сравнительного анализа хелатирующего эффекта ТРЕН и ДТРА выявлены существенные различия в степени снижения внутриклеточного пула цинка (рис. 1, б). Если 30-минутная инкубация эритроцитов с ТРЕН в концентрации 10 мкМ приводила к снижению цитозольного содержания Zn^{2+} в среднем на 5–10 %, то эффект ДТРА в той же концентрации составлял не более 4 %; 25 мкМ ТРЕН вызывало 10–14 % истощение внутриклеточного Zn^{2+} , а 25 мкМ ДТРА – 5–7 %; 50 мкМ ТРЕН снижало уровень Zn^{2+} на 20–27 %, а 50 мкМ ДТРА – на 10–15 %; 100 мкМ ТРЕН снижало уровень Zn^{2+} на 40–50 %, а 100 мкМ ДТРА – на 22–30 %.

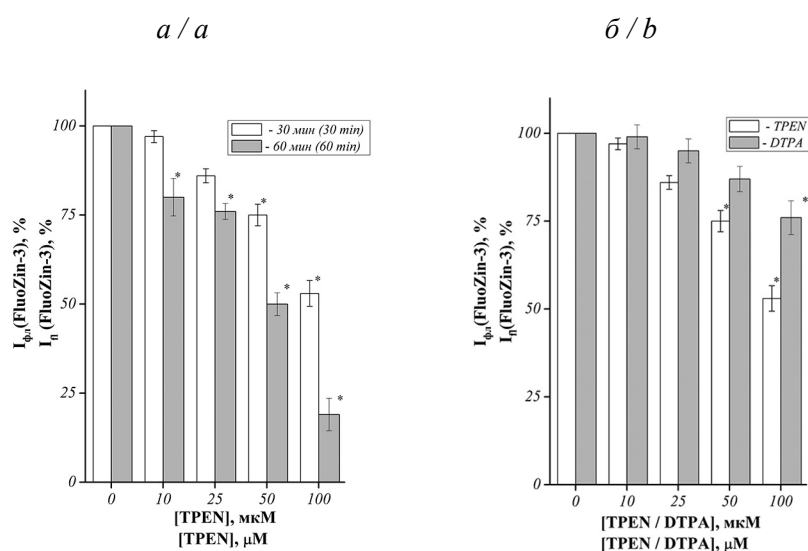


Рис. 1. Зависимость относительной интенсивности флуоресценции FluoZin-3 от типа хелатора, его концентрации и времени экспозиции с эритроцитами человека

Fig. 1. Dependence of the relative intensity of FluoZin-3 fluorescence from the chelator type, its concentration and exposure time with human erythrocytes

Ранее нами было показано [21], что при добавлении внеклеточного хелатора ДТРА к суспензии эритроцитов, предварительно нагруженных флуоресцентным красителем FluoZin-3, происходит нарастание интенсивности его флуоресценции, что свидетельствует об увеличении цитозольной концентрации лабильных ионов цинка, то есть при добавлении мембранонепроницаемого хелатора, который связывает эти ионы на поверхности мембраны, происходит высвобождение Zn^{2+} из клеточных депо для восполнения его недостатка на мембране и лишь на 20 мин инкубации наблюдалось плавное снижение интенсивности флуоресценции FluoZin-3. А при добавлении внутриклеточного хелатора ТРЕН к суспензии эритроцитов происходило резкое скачкообразное снижение интенсивности флуоресценции FluoZin-3 до базального уровня, что свидетельствует о необратимом истощении эритроцитов по Zn^{2+} . Таким образом, полученные результаты подтверждают сформулированное нами ранее предположение, что на поверхности эритроцитов находятся специфические рецепторы, отвечающие за поддержание цинкового гомеостаза.

Параллельно была проведена оценка эстеразной активности эритроцитов человека (маркера их жизнеспособности) с помощью высоколипофильного красителя кальцеина АМ, который быстро проникает сквозь клеточную мембрану и подвергается деацетилированию внутриклеточными эстеразами до флуоресцирующего кальцеина [15; 22]. Инкубация клеток с внутриклеточным хелатором ТРЕН в концентрациях 10–100 мкМ в течение 30 мин позволила обнаружить статистически достоверное дозозависимое увеличение интенсивности флуоресценции зонда в среднем на 20–75 % (рис. 2). При этом, как было показано ранее, внутриклеточное содержание лабильного пула цинка снижалось на 10–50 %

(рис. 1, а, б). Однако при воздействии на эритроциты мембранонепроницаемого хелатора ДТРА в таких же концентрациях, что приводит к снижению внутриклеточного пула лабильного цинка до 20–25 %, не обнаружено достоверного изменения активности эритроцитарных эстераз по отношению к интактным клеткам (рис. 2). Проведенный корреляционный анализ выявил статистически значимую обратную зависимость между внутриклеточным содержанием лабильных ионов цинка и цитозольной эстеразной активностью эритроцитов, подвергшихся воздействию мембранопроницаемого хелатора ТРЕН (коэффициент Спирмена, $r_s = -0,866$, $p = 0,049$), а в условиях моделирования Zn-дефицитного состояния в клетках *in vitro* путем воздействия ДТРА не наблюдалось достоверных зависимостей.

В работе [22] нами было продемонстрировано, что увеличение цитозольного пула лабильного Zn^{2+} свыше 100 нМ приводит к ингибированию цитозольной эстеразной активности эритроцитов, что свидетельствует о ранних стадиях процесса запрограммированной гибели (эриптоза). Кроме того, нами была выявлена обратная зависимость между изменением внутриклеточного пула лабильного цинка и эстеразной активности эритроцитов при моделировании окислительного стресса, используя пероксид водорода *in vitro* [23], что свидетельствует о прямом участии Zn^{2+} в запуске эриптоза и о том, что дисбаланс «прооксиданты / антиоксиданты» в пользу первых выступает в качестве триггера данного процесса. На основании вышеизложенных результатов мы сделали предположение, что статус ионов цинка в эритроцитах человека может напрямую определяться активностью ключевых ферментов системы антиоксидантной защиты клетки (каталаза, глутатионпероксидаза, супероксиддисмутаза), а также содержанием низкомолекулярного антиоксиданта – восстановленного глутатиона, и низкомолекулярных цитозольных белков – металлотионеинов.

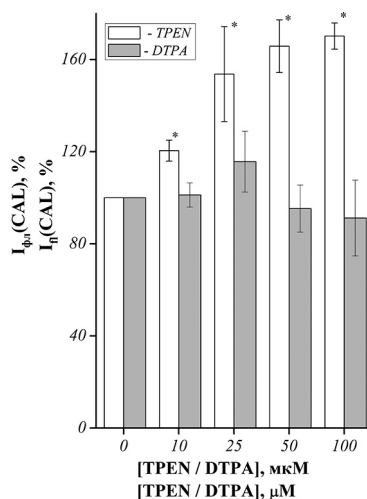


Рис. 2. Интенсивность флуоресценции кальцеина в эритроцитах человека, подвергшихся воздействию хелаторов ионов цинка: ТРЕН и ДТРА

Fig. 2. Intensity of calcein fluorescence in human erythrocytes exposed to the chelating agents of zinc ions: TPEN and DTPA

Известно, что наиболее важным элементом системы глутатиона является фермент глутатионпероксидаза, которому принадлежит основная роль в утилизации липидных гидроперекисей и пероксида водорода. Результаты проведенных нами исследований по определению активности данного фермента в эритроцитах человека в условиях моделирования дефицита цинка выявили статистически значимое снижение его активности как при внутриклеточном хелатировании цинка, так и при использовании мембранонепроницаемого хелатора ДТРА (рис. 3, а). При внутриклеточном хелатировании максимальный эффект наблюдался при действии ТРЕН в концентрации 25 мкМ – ингибирование фермента в среднем на 50–60 %, тогда как при действии ТРЕН в концентрациях 50 и 100 мкМ – 30–45 % (рис. 3, а). При внеклеточном хелатировании данного микроэлемента происходило более выраженное ингибирование активности глутатионпероксидазы – максимальный эффект наблюдался при воздействии ДТРА в концентрации 100 мкМ – 60–70 %-ое снижение активности фермента, тогда как действие 10–50 мкМ ДТРА снижало активность фермента в среднем на 30–50 % (рис. 3, а). При этом, активность каталазы – функция, которой также заключается в утилизации пероксида водорода, была также снижена как при действии ТРЕН, так и при действии ДТРА, но в меньшей степени (рис. 3, б). Инкубация эритроцитов в течение 30 мин с ТРЕН в концентрациях 10–100 мкМ вызывала 20–35 % ингибирование каталазы, а с ДТРА в тех же концентрациях – 10–35 % снижение активности фермента (рис. 3, б). Более того, не было обнаружено концентрационной зависимости ингибирования данного фермента. Полученные результаты можно объяснить тем фактом, что в эритроцитах при высокой скорости образования пероксида водорода преобладает каталазная активность, а при низкой скорости образования H_2O_2 – пероксидазная [23].

Оценка концентрации восстановленного глутатиона – главного антиоксиданта эритроцитов, выявила разнонаправленное изменение ее содержания в эритроцитах в зависимости от концентрации TPEN, находящегося в среде инкубации клеток (рис. 4, а, б). Если воздействие TPEN в концентрациях 10 и 25 мкМ приводило к незначительному снижению, то инкубация клеток с 50 мкМ – к статистически значимому увеличению содержания GSH в среднем на 10 %. В то же время 60-минутная инкубация эритроцитов с TPEN вызывала достоверное дозозависимое снижение концентрации GSH. При этом инкубация клеток с мембранонепроницаемым хелатором цинка DTPA в концентрациях 10, 50 и 100 мкМ не приводила к значительному изменению концентрации исследуемого показателя, но в то же время воздействие DTPA в концентрации 25 мкМ сопровождалось увеличением концентрации GSH на 8–10 % при 30-минутной и на 20–25 % при 60-минутной инкубации (рис. 4, б). Объяснением этого факта может явиться продемонстрированный нами ранее механизм действия мембранонепроницаемого хелатора цинка – а именно рецепторный запуск высвобождения ионов цинка из депо клетки из-за их хелатирования на поверхности мембраны [21]. Как было показано нами в работе [23], инкубация эритроцитов с хлоридом цинка в концентрации 50 мкМ в течение 30 мин приводит к увеличению уровня восстановленного глутатиона в среднем на 10 %.

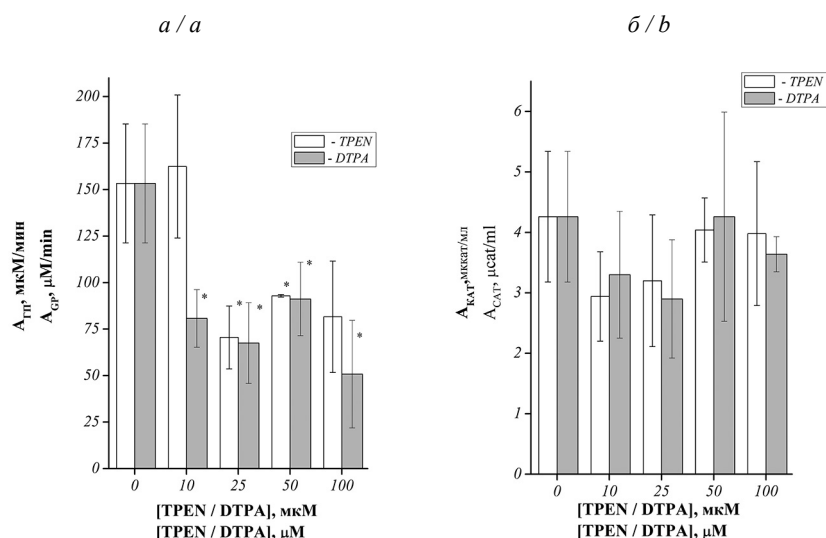


Рис. 3. Активность глутатионпероксидазы (а) и каталазы (б) в эритроцитах человека, подвергшихся воздействию внутриклеточного хелатора TPEN и внеклеточного хелатора DTPA

Fig. 3. The activity of glutathione peroxidase (a) and catalase (b) in human erythrocytes exposed to the intracellular chelator TPEN and extracellular chelator DTPA

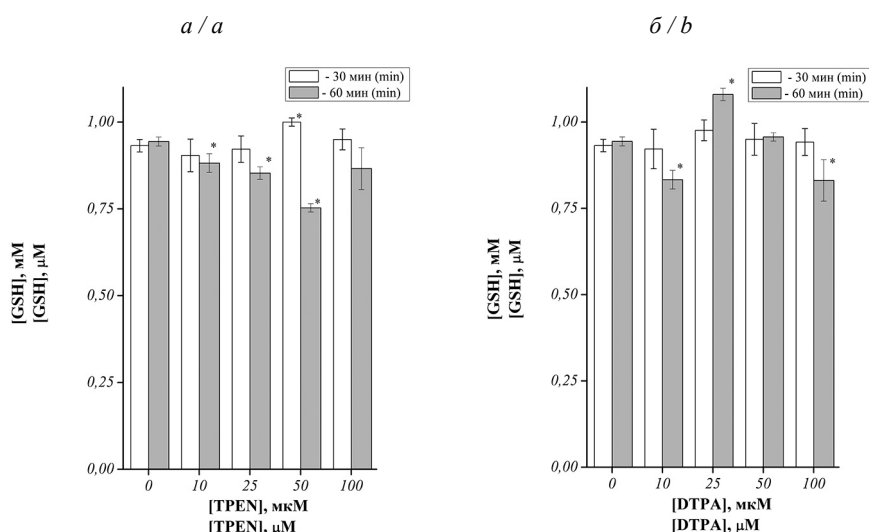


Рис. 4. Зависимость содержания восстановленного глутатиона в эритроцитах человека от концентрации и времени экспозиции с хелаторами цинка TPEN (а) и DTPA (б)

Fig. 4. Dependence of the reduced glutathione level in human erythrocytes from the concentration and exposure time with zinc chelators TPEN (a) and DTPA (b)

Проведенный корреляционный анализ выявил обратные зависимости между уровнем внутриклеточного пула лабильного цинка и содержанием восстановленного глутатиона в эритроцитах, подвергшихся 30-минутному воздействию внутриклеточного и мембранного хелаторов Zn^{2+} (коэффициент Спирмена $r_{s1} = -0,809$; $r_{s2} = -0,417$, соответственно после инкубации с TPEN и DTPA). Однако при увеличении времени воздействия TPEN на эритроциты до 60 мин мы наблюдали положительную статистически значимую корреляцию (коэффициент Спирмена $r_s = 0,996$, $p = 0,004$). Положительные корреляции были выявлены также между изменением внутриклеточного пула лабильного цинка и активностью глутатионпероксидазы (коэффициент Спирмена $r_{s1} = 0,723$, $r_{s2} = 0,63$ соответственно после 30-минутной инкубации с TPEN и DTPA). В то же время между изменением внутриклеточного содержания лабильного пула цинка в эритроцитах после воздействия TPEN / DTPA и активностью каталазы зависимости выявлено не было. Однако была установлена достоверная обратная взаимосвязь между эстеразной активностью эритроцитов и активностью глутатионпероксидазы при истощении в клетках ионов цинка, используя хелатор TPEN (коэффициент Спирмена $r_s = -0,888$, $p = 0,044$). Исходя из этих результатов, мы заключили, что критическое снижение активности именно этого фермента вносит значительный вклад в активацию эритроцитарных эстераз в условиях дефицита ионов цинка, но сам механизм запуска этого процесса до сих пор не выявлен.

Таким образом, полученные данные подтверждают гипотезу, что одним из возможных механизмов развития окислительного стресса в клетках при Zn-дефицитном состоянии может являться ингибирование основных ферментов антиоксидантной защиты и изменение уровня восстановленного глутатиона, что свидетельствует о модификации внутриклеточных тиольных групп. Известно, что наряду с GSH, в поддержании клеточного редокс-состояния принимают участие металлотионеины (MTs), суперсемейство неэнзиматических полипептидов, обусловленные небольшой молекулярной массой, характерным аминокислотным составом (большим содержанием цистеина) и высоким содержанием серы и металлов (тиолатные кластеры металлов) [24]. Они могут функционировать в качестве вспомогательного антиоксиданта в защитной системе клетки и проявлять свои антиоксидантные свойства только в экстремальных условиях окислительного стресса [25]. В ряде статей, посвященных исследованию взаимосвязи MTs с регуляцией клеточного цикла и пролиферацией, был продемонстрирован контроль ими внутриклеточного уровня Zn^{2+} [26] и показано, что они регулируют цитозольный пул ионов цинка путем высвобождения и передачи их другим металлопротеинам и транскрипционным факторам [27]. При этом MTs являются маркерами окислительного стресса как на уровне мРНК, так и на белковом уровне.

Исходя из вышеизложенного, мы изучили экспрессию цистеин-обогащенных белков металлотионеинов в эритроцитах человека в условиях дефицита цинка, смоделированного *in vitro* путем инкубации эритроцитов человека с хелаторами данного микроэлемента TPEN и DTPA в концентрации 50 мкМ.

Как следует из рис. 5, после 60-минутного воздействия DTPA в концентрации 50 мкМ происходит увеличение экспрессии металлотионеинов в эритроцитах в среднем на 10–20 %, а инкубация эритроцитов с внутриклеточным хелатором TPEN при тех же условиях приводит к увеличению экспрессии данного белка на 20–30 %, по сравнению с интактными клетками. Следовательно, уровень GSH в данных условиях (60-минутная инкубация) при воздействии TPEN достоверно снижается с 0,95 мМ – значение, характерное для интактных эритроцитов, до 0,75 мМ (рис. 4, а), но в то же время, воздействие мембранного хелатора DTPA не оказывало заметного ингибирующего действия на уровень GSH в эритроцитах (рис. 4, б).

Полученные результаты, с одной стороны, подтверждают предположение о функционировании MTs в качестве вспомогательного антиоксиданта в защитной системе клетки и проявлении своих антиоксидантных свойств в условиях окислительного стресса [23–24], но, с другой стороны, не согласуются с гипотезой о снижении экспрессии MTs в условиях дефицита цинка, выдвинутой в работе [28].

Заключение

Установлено, что моделирование Zn-дефицитного состояния в эритроцитах человека с помощью внутриклеточного хелатора TPEN в субгемолитических концентрациях приводит к достоверному снижению внутриклеточного пула Zn^{2+} и увеличению эстеразной активности клеток, что не наблюдалось при истощении ионов цинка с помощью внеклеточного хелатора DTPA (рис. 5).

Впервые продемонстрировано, что одним из возможных механизмов развития окислительного стресса в эритроцитах человека в условиях дефицита цинка является ингибирование активности основных ферментов антиоксидантной защиты – каталазы и глутатионпероксидазы на фоне разнонаправленного изменения уровня восстановленного глутатиона. Выявлено, что именно снижение активности

глутатионпероксидазы вносит вклад в активацию эритроцитарных эстераз в условиях дефицита ионов цинка.

Обнаружено увеличение экспрессии цистеин-обогащенных белков металлотионеинов в эритроцитах человека при моделировании Zn-дефицитного состояния *in vitro*, что подтверждает предположение о функционировании MTs в качестве вспомогательного антиоксиданта в защитной системе клеток.

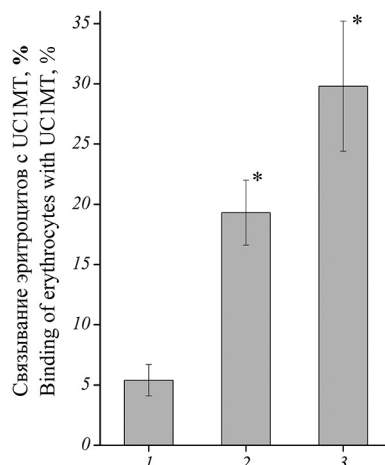


Рис. 5. Процент связывания антител UC1MT с металлотионеинами в эритроцитах человека при моделировании Zn-дефицитного состояния *in vitro*

1 – интактные эритроциты; 2 – эритроциты, обработанные DTPA в концентрации 50 мкМ; 3 – эритроциты, обработанные TPEN в концентрации 50 мкМ

Fig. 5. Percentage of UC1MT antibodies binding to metallothioneins in human erythrocytes under simulation of the Zn-deficient state *in vitro*

1 – intact erythrocytes; 2 – erythrocytes treated with 50 μM DTPA; 3 – erythrocytes treated with 50 μM TPEN

Библиографические ссылки

1. Maret W., Li Y. Coordination dynamics of zinc in proteins // Chem. Rev. 2009. Vol. 109. P. 4682–4707.
2. Andreini C., Banci L., Bertini I., Rosato A. Counting the zinc-proteins encoded in the human genome // J. Proteome. Res. 2006. Vol. 5, № 1. P. 196–201.
3. Гармаза Ю. М., Слобожанина Е. И. Эссенциальность и токсичность цинка. Биофизические аспекты // Биофизика. 2014. Т. 59, вып. 2. С. 322–337.
4. Prasad A. S., Halsted J. A., Nadimi M. Syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, hypogonadism, dwarfism and geophagia // Am. J. Med. 1961. Vol. 31. P. 532–546.
5. Moynahan E. J. Letter: Acrodermatitis enteropathica: A lethal inherited human zinc-deficiency disorder // Lancet. 1974. Vol. 2. P. 399–400.
6. Wang K., Zhou B., Kuo Y. M., et al. A novel member of a zinc transporter family is defective in acrodermatitis enteropathica // Am. J. Hum. Genet. 2002. Vol. 71. P. 66–73.
7. Prasad A. S. Impact of the discovery of human zinc deficiency on health // J. Trace Elem. Med. Biol. 2014. Vol. 28, № 4. P. 357–363.
8. Zago M. P., Oteiza P. I. The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants // Free Radic. Biol. Med. 2001. Vol. 31, № 2. P. 266–274.
9. Oteiza P. I., Clegg M. S., Zago M. P., et al. Zinc deficiency induces oxidative stress and AP-1 activation in 3T3 cells // Free Radical Biol. Med. 2000. Vol. 28. P. 1091–1099.
10. Ho E., Ames B. N. Low intracellular zinc induces oxidative DNA damage, disrupts p53, Nfκappa B, and AP1 DNA binding, and affects DNA repair in a rat glioma cell line // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2002. Vol. 99. P. 16770–16775.
11. Song Y., Leonard S. W., Traber M. G., et al. Zinc deficiency affects DNA damage, oxidative stress, antioxidant defenses, and DNA repair in rats // J. Nutr. 2009. Vol. 139. P. 1626–1631.
12. Brennan A. M., Suh S. W., Won S. J., et al. NADPH oxidase is the primary source of superoxide induced by NMDA receptor activation // Nat. Neurosci. 2009. Vol. 12. P. 857–863.
13. Paoletti A. M., Vergnano A. M., Barbour B., et al. Zinc at glutamatergic synapses // Neuroscience. 2009. Vol. 158. P. 126–136.
14. Gee K. R., Zhou Z. L., Ton-That D., et al. Measuring zinc in living cells. A new generation of sensitive and selective fluorescent probes // Cell Calcium. 2002. Vol. 31, № 5. P. 245–251.
15. Bratosin D., Mitrofan L., Palli C., et al. Novel fluorescence assay using Calcein-AM for the determination of human erythrocyte viability and aging // Cytometry A. 2005. Vol. 66A. P. 78–84.
16. Ellman G. L. Tissue sulfhydryl groups // Arch Biochem Biophys. 1959. Vol. 82, № 1. P. 70–77.

17. Moin V. M. Простой и специфический метод определения активности глутатионпероксидазы в эритроцитах // Лаб. дело. 1986. № 12. С. 724–727.
18. Королук М. А., Иванова Л. И., Майорова И. Г. и др. Метод определения каталазной активности // Лаб. дело. 1988. № 1. С. 16–19.
19. Abcam [Electronic resource] / Anti-Metallothionein antibody [UC1MT]. URL: <http://www.abcam.com/metallothionein-antibody-uc1mt-ab12228.html> (date of access: 04.10.2015).
20. McCabe M. J., Jiang S. A., Orrenius S. Chelation of intracellular zinc triggers apoptosis in mature thymocytes // Lab. Invest. 1993. Vol. 69. P. 101–110.
21. Harmaza Y., Slobozhanina E. Zinc homeostasis and eryptosis // FEBS J. 2013. Vol. 280, issue 1. P. 218.
22. Гармаза Ю. М., Тамашевский А. В., Гончарова Н. В. и др. Влияние внутриклеточного уровня цинка в эритроцитах человека на перераспределение фосфатидилсерина и их жизнеспособность // Новости медико-биологических наук. 2011. Т. 3, № 1. С. 90–95.
23. Гармаза Ю. М., Тамашевский А. В., Канаиш Ю. С. и др. Внутриклеточный цинк: роль в H₂O₂-индуцированном окислительном стрессе в эритроцитах человека // Биофизика. 2016. Т. 61, вып. 6. С. 1149–1158.
24. Гармаза Ю. М., Тамашевский А. В., Слобожанина Е. И. Металлотионеины млекопитающих: структура и биологическая роль // Известия НАН Беларуси. Сер. биол. наук. 2016. № 1. С. 107–116.
25. Min K. S., Tanaka N., Horie T., et al. Metallothionein-enriched hepatocytes are resistant to ferric nitriloacetate toxicity during conditions of glutathione depletion // Toxicol. Lett. 2005. Vol. 158. P. 108–115.
26. Gumulec J., Masarik M., Krizkova S., et al. Insight to physiology and pathology of zinc(II) ions and their actions in breast and prostate carcinoma // Curr. Med. Chem. 2011. Vol. 18. P. 5041–5051.
27. Formigari A., Santon A., Irato P. Efficacy of zinc treatment against iron-induced toxicity in rat hepatoma cell line H4-II-E-C3 // Liver Int. 2007. Vol. 27. P. 120–127.
28. Eide D. J. The oxidative stress of zinc deficiency // Metallomics. 2011. Vol. 3. P. 1124–1129.

References

1. Maret W., & Li Y. (2009). Coordination Dynamics of Zinc in Proteins. *Chemical Reviews*, 109(10), 4682–4707. DOI:10.1021/cr800556u.
2. Andreini C., Banci L., Bertini I., & Rosato, A. (2006). Counting the Zinc-Proteins Encoded in the Human Genome. *J. of Proteome Research*, 5(1), 196–201. DOI:10.1021/pr050361j.
3. Harmaza Y. M., Slobozhanina E. I. [Garmaza Yu. M., Slobozhanina E. I.] (2014) Zinc essentiality and toxicity. Biophysical aspects [Essentsialnoŭ i tokichnoŭ tsinka. Biofizicheskie aspekty], *Biophysics*, 59(2), 322–337 (in Russ.).
4. Prasad A. S., Halsted, J. A., & Nadimi, M. (1961). Syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, hypogonadism, dwarfism and geophagia. *The Americ. J. of Med.*, 31(4), 532–546. DOI:10.1016/0002-9343(61)90137-1.
5. Moynahan E. (1974). Acrodermatitis Enteropathica: A Lethal Inherited Human Zinc-Deficiency Disorder. *The Lancet*, 304(7877), 399–400. DOI:10.1016/s0140-6736(74)91772-3.
6. Wang K., Zhou B., Kuo Y., et al. (2002). A Novel Member of a Zinc Transporter Family Is Defective in Acrodermatitis Enteropathica. *The Americ. J. of Human Genet.*, 71(1), 66–73. DOI:10.1086/341125
7. Prasad A. S. (2014). Impact of the discovery of human zinc deficiency on health. *J. of Trace Elem. in Med. and Biol.*, 28(4), 357–363. DOI:10.1016/j.jtemb.2014.09.002.
8. Zago M., & Oteiza P. I. (2001). The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants. *Free Radical Biol. and Med.*, 31(2), 266–274. DOI:10.1016/s0891-5849(01)00583-4.
9. Oteiza P. (2000). Zinc deficiency induces oxidative stress and AP-1 activation in 3T3 cells. *Free Radical Biol. and Med.*, 28(7), 1091–1099. DOI:10.1016/s0891-5849(00)00200-8.
10. Ho E., & Ames B. N. (2002). Low intracellular zinc induces oxidative DNA damage, disrupts p53, NF B, and AP1 DNA binding, and affects DNA repair in a rat glioma cell line. *Proceed. of the Nation. Acad. of Scien.*, 99(26), 16770–16775. DOI:10.1073/pnas.222679399.
11. Song Y., Leonard S. W., Traber M. G., et al. (2009). Zinc Deficiency Affects DNA Damage, Oxidative Stress, Antioxidant Defenses, and DNA Repair in Rats. *J. of Nutrition*, 139(9), 1626–1631. DOI:10.3945/jn.109.106369.
12. Brennan A. M., Suh S. W., Won S. J., et al. (2009). NADPH oxidase is the primary source of superoxide induced by NMDA receptor activation. *Nature Neuroscience*, 12(7), 857–863. DOI:10.1038/nn.2334.
13. Paoletti P., Vergnano A., Barbour B., et al. (2009). Zinc at glutamatergic synapses. *Neuroscience*, 158(1), 126–136. DOI:10.1016/j.neuroscience.2008.01.061.
14. Gee K., Zhou Z., Ton-That D., et al. (2002). Measuring zinc in living cells. *Cell Calcium*, 31(5), 245–251. DOI:10.1016/s0143-4160(02)00053-2.
15. Bratosin D., Mitrofan L., Palii C., et al. (2005). Novel fluorescence assay using calcein-AM for the determination of human erythrocyte viability and aging. *Cytometry Part A*, 66A(1), 78–84. DOI:10.1002/cyto.a.20152.
16. Ellman G. L. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Archiv. of Biochem. and Biophys.*, 82(1), 70–77. DOI:10.1016/0003-9861(59)90090-6.
17. Moin V. M. [Moin V. M.] (1986) A simple and specific method for determining of the glutathione peroxidase activity in erythrocytes [Prostoy i spetsificheskij metod opredeleniya aktivnosti glutationperoksidazyi v eritrotsitah]. *Lab. diagn. [Lab. delo]*, 12, 724–727 (in Russ).
18. Koroluk M. A., Ivanova L. I., Majorova I. G., et al. [Korolyuk M. A., Ivanova L. I., Mayorova I. G., Tokareva V.E.] (1988). Method for the determination of catalase activity [Metod opredeleniya katalaznoy aktivnosti]. *Lab. diagn. [Lab. delo]*, 1, 16–19 (in Russ).
19. Abcam [Electronic resource] / Anti-Metallothionein antibody [UC1MT]. URL: <http://www.abcam.com/metallo-thionein-antibody-uc1mt-ab12228.html> (date of access: 04.10.2015).

20. McCabe M. J., Jiang S. A. & Orrenius S. (1993). Chelation of intracellular zinc triggers apoptosis in mature thymocytes. *Lab. Invest.*, 69(1), 101–110.
21. Harmaza Y. & Slobozhanina E. (2013). Zinc homeostasis and eryptosis. *FEBS J.*, 280(1), 218.
22. Harmaza Y. M., Tamashevski A. V., Goncharova N. V., et al. [Garmaza Yu. M., Tamashevskiy A. V., Goncharova N. V., Slobozhanina E. I.] (2011) Influence of intracellular level of zinc in human erythrocytes on the redistribution of phosphatidylserine and their viability [Vliyanie vnutrikletchnogo urovnya tsinka v eritrotsitah cheloveka na pereraspredelenie fosfatidilserina i ih zhiznesposobnost]. *News of biomed. scien. [Novosti med.-biol. nauk]*, 3(1), 90–95 (in Russ).
23. Harmaza Y. M., Tamashevski A. V., Kanash J. S., et al. [Garmaza Yu. M., Tamashevskiy A. V., Kanash Yu. S., Zubritskaya G. P., Kutko A. G., Slobozhanina E. I.] (2016). Intracellular Zinc: a Role in H₂O₂-Induced Oxidative Stress in Human Erythrocytes [Vnutrikletchnyy tsink: rol v H₂O₂-indutsirovannom oksislitelnom stresse v eritrotsitah cheloveka] *Biophysics [Biofizika]*, 61(6), 1149–1158 (in Russ).
24. Harmaza Y. M., Tamashevski A. V. & Slobozhanina E. I. [Garmaza Yu. M., Tamashevskiy A. V., Slobozhanina E. I.] (2016). Mammalian methalothioneins: structure and biological role [Metallothioneinyi mlekopitayuschih: struktura i biologicheskaya rol]. *Proceed. of the Nation. acad. of scien. of Belarus [Izvestiya NAN Belarusi]*, 1, 107–116 (in Russ.).
25. Min K. S., Tanaka N., Horie T., et al. Metallothionein-enriched hepatocytes are resistant to ferric nitriloacetate toxicity during conditions of glutathione depletion. *Toxicol. Lett.* 2005. Vol. 158. P. 108–115.
26. Gumulec J., Masarik M., Krizkova S., et al. Insight to physiology and pathology of zinc(II) ions and their actions in breast and prostate carcinoma. *Curr. Med. Chem.* 2011. Vol. 18. P. 5041–5051.
27. Formigari A., Santon A., Irato P. Efficacy of zinc treatment against iron-induced toxicity in rat hepatoma cell line H4-II-E-C3. *Liver Int.* 2007. Vol. 27. P. 120–127.
28. Eide D. J. The oxidative stress of zinc deficiency. *Metallomics.* 2011. Vol. 3. P. 1124–1129.

Статья поступила в редколлегию 25.05.2017
Received by editorial board 25.05.2017

УДК 57.044:616-006.6

ПОТРЕБЛЕНИЕ АЛКОГОЛЯ КАК ФАКТОР РИСКА ОПУХОЛЕЙ ГОРТАНИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. Г. СЫСА¹⁾, Д. В. МАКАРЕВИЧ¹⁾, Е. П. ЖИВИЦКАЯ¹⁾

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

В Республике Беларусь онкозаболевания являются одной из наиболее частых причин смертей населения. Известно, что одними из самых распространенных канцерогенов являются алкогольные напитки, в связи с чем в данной работе был оценен дополнительный груз заболеваемости раком гортани в результате потребления алкоголя населением страны.

Для рака гортани есть убедительные доказательства положительной взаимосвязи с потреблением алкоголя. Популяционная атрибутивная фракция (ПАФ) была рассчитана на основе: 1) распространенности потребления алкоголя населением Республики Беларусь в возрасте от 15 лет в 2000 г.; 2) половозрастного распределения населения Республики Беларусь по уровням потребления алкоголя (г/сут.) с в 2000 г.; 3) данных о заболеваемости раком гортани в 2015 г.

Среди мужчин 330 случаев рака гортани (36,9 %) связаны с потреблением алкоголя. Среди женщин 4 случая рака гортани (13,7 %) были связаны с этой проблемой. Отказ от потребления или снижение потребления алкоголя с медианы самой высокой четвертой квартили потребления (50,0 г/сут для мужчин, 30,0 г/сут. для женщин) до медианы самой низкой квартили (20,0 г/сут. для мужчин, 10,0 г/сут. для женщин) снизит бремя алкогольных онкозаболеваний в Беларуси. Сокращение потребления алкоголя в значительной мере снизит груз заболеваемости раком гортани мужского населения Республики Беларусь.

Ключевые слова: алкоголь; рак гортани; фактор риска; популяционная атрибутивная фракция.

LARYNX CANCERS ATTRIBUTABLE TO ALCOHOL CONSUMPTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A. G. SYSA^a, D. V. MAKAREVICH^a, A. P. ZHYVITSKAYA^a

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus
Corresponding author: aliaksei.sysa@bsu.by

In the Republic of Belarus, cancer is one of the most common cause of death. As alcoholic beverages are carcinogenic to humans, we estimated the burden of cancer related to alcohol consumption in the Belarussian population.

Образец цитирования:

Сыса А. Г., Макаревич Д. В., Живицкая Е. П. Потребление алкоголя как фактор риска опухолей гортани в Республике Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 64–71.

For citation:

Sysa A. G., Makarevich D. V., Zhyvitskaya A. P. Larynx cancers attributable to alcohol consumption in the Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 64–71 (in Russ.).

Авторы:

Алексей Григорьевич Сыса – кандидат химических наук, доцент; заведующий кафедрой экологической химии и биохимии.

Дарья Владимировна Макаревич – студентка факультета экологической медицины.

Елена Петровна Живицкая – старший преподаватель кафедры иммунологии и экологической эпидемиологии.

Authors:

Aliaksei G. Sysa, PhD (chemical), associate professor; head of the chair of environmental chemistry.

aliaksei.sysa@bsu.by

Darya V. Makarevich, student of the faculty of environmental medicine.

Alena P. Zhyvitskaya, senior lecturer of the chair of immunology and environmental epidemiology.

zhyvitskayaep@bsu.by

For the larynx cancer there is convincing evidence of a positive association with alcohol consumption. Sex- and cancer-specific population attributable fractions (PAF) were calculated based on: 1) the prevalence of alcohol drinkers among people ≥ 15 years of age in 2000; 2) the average daily alcohol consumption (g/day) among drinkers in 2000; 3) national cancer incidence data from 2015.

Among men, 36,9 % (330 cases) of incident laryngeal cancer cases were attributable to alcohol consumption. Among women, 13,7 % (4 cancer cases) of incident cancers were attributable to alcohol consumption. Avoiding alcohol consumption, or reducing it from the median of the highest 4th quartile of consumption (50.0 g/day for men, 30.0 g/day for women) to the median of the lowest quartile (20.0 g/day for men, 10.0 g/day for women), would reduce the burden of alcohol-related cancers in Belarus.

A reduction in alcohol consumption would decrease the cancer burden and a significant impact is anticipated specifically for the larynx cancers among men in the Republic of Belarus.

Key words: alcohol; larynx cancer; risk factor; population attributable fraction.

Введение

Рак гортани (РГ) занимает лидирующие позиции среди злокачественных опухолей верхних дыхательных путей, составляя от 2 до 5 % всех злокачественных заболеваний, ежегодно диагностируемых во всем мире. Заболеваемость в большинстве стран мира находится на относительно невысоком уровне, хотя широко варьируется и сопоставима с таковой рака ротовой полости или щитовидной железы. Низкие показатели ранней активной диагностики рака (49,3 % в 2015 г.), высокие показатели одногодичной летальности (21,2 % в 2015 г.) и запущенности злокачественных опухолей гортани свидетельствуют о необходимости проведения системного изучения вклада основных факторов риска РГ на территории Республики Беларусь.

Эпидемиологический анализ заболеваемости раком гортани населения Республики Беларусь

В структуре заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями в Республике Беларусь среди мужского населения рак гортани занимает 3 % и находится на десятом ранговом месте. В структуре онкозаболеваний женщин РГ занимает последнее ранговое место с удельным весом меньше 0,1 % [1].

В подавляющем большинстве случаев раком гортани болеют мужчины (95–98 %). Среди женщин число заболевших весьма незначительно и за анализируемый период 2002–2013 гг. находилось в пределах от 11 до 27 новых случаев в год. Преимущественное поражение раком гортани лиц мужского пола связывают с курением, частым употреблением алкоголя и профессиональными вредностями.

Показатели заболеваемости отражают ту же закономерность динамики, что и абсолютные числа, а именно: более-менее равномерно выраженное увеличение заболеваемости с начала 70-х до 1992 г. (10,8 на 100 000) и практически стабилизацию (с небольшими колебаниями) процесса в последующие 10 лет. У женщин показатели заболеваемости в течение 30 лет находились на уровне 0,2–0,3 на 100 000 населения. Таким образом, всю картину заболеваемости РГ обуславливает заболеваемость мужского населения [2].

Имеются различия в частоте первичных злокачественных новообразований гортани по месту постоянного проживания: самый низкий уровень (в среднем за 5 лет) наблюдается в г. Минске и Витебской области (3,0 и 3,8 на 100 тыс. соответственно), статистически значимо отличаясь от уровней в Могилевской, Минской и Брестской областях (4,8, 4,9 и 4,7 на 100 тыс. соответственно) (рис. 1).

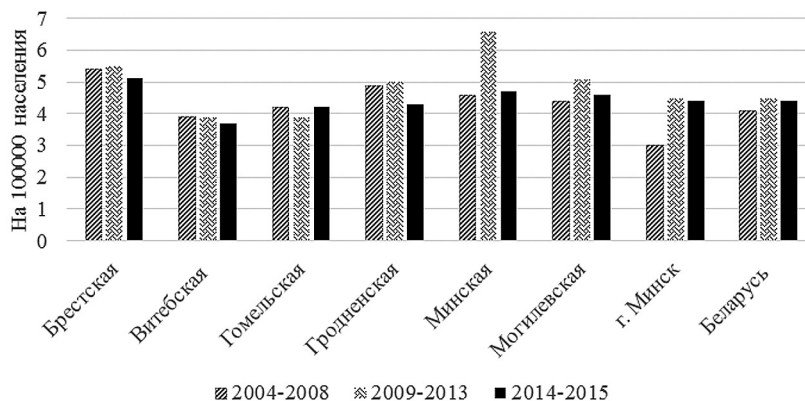


Рис. 1. Территориальные уровни заболеваемости населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями гортани за 2004–2008, 2009–2013 и 2014–2015 гг.

Fig. 1. Laryngeal cancer incidence rate in Belarus

Сравнительный анализ заболеваемости рака гортани городского и сельского населения Республики Беларусь свидетельствует, что показатели заболеваемости раком гортани городского населения (5,3 на 100 тыс. в среднем за изученный период) ниже, чем сельского (8,6 на 100 тыс. в среднем за изученный период) (рис. 2).

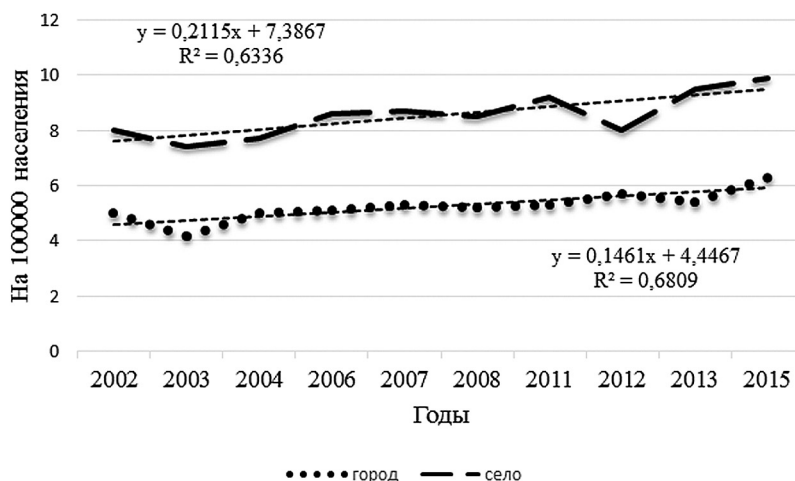


Рис. 2. Динамика заболеваемости раком гортани городского и сельского населения Республики Беларусь за 2002–2015 гг.

Fig. 2. Laryngeal cancer incidence among rural and urban population of Belarus in 2002–2015

На рис. 3 приведены кривые заболеваемости для каждого из интервалов наблюдений в зависимости от возрастных групп для населения Республики Беларусь.

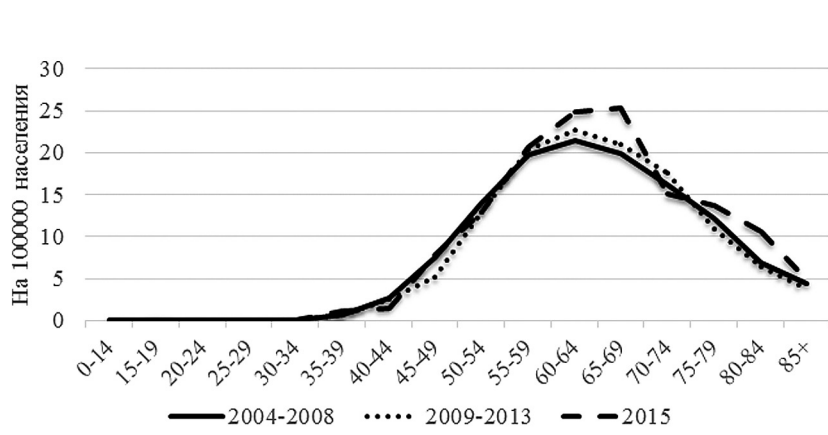


Рис. 3. Средние по возрасту показатели заболеваемости населения Республики Беларусь за 2004–2008, 2009–2013 и 2015 гг.

Fig. 3. Average age dependent incidence rates in Belarusian population for the periods of 2004–2008, 2009–2013 and 2015

Для заболеваемости рака гортани населения Республики Беларусь по возрастам характерно стойкое увеличение заболеваемости с возрастом. Рост заболеваемости населения происходит с увеличением возраста, максимальные значения за период с 2004–2013 г. наблюдаются к 60–64 годам, однако в 2015 г. наблюдается смещение пика заболеваемости на возрастную группу 65–69. Начиная с 75 лет происходит некоторое снижение заболеваемости, что может быть вызвано ухудшением диагностики рака в этом возрасте и большей вероятностью смерти.

Количественная оценка риска, связанного с потреблением алкоголя

Курение табака и потребление алкоголя, как правило, рассматриваются в качестве основных факторов риска развития рака гортани. Некоторые экологические, профессиональные и алиментарные факторы также могут играть определенную роль в канцерогенезе.

Рак гортани традиционно считается болезнью мужчин, злоупотребляющих табаком и алкоголем. Гендерное соотношение заболеваемости колеблется от 5 до 20 к 1 в пользу мужчин, однако в последние

десятилетия наблюдается снижение этого показателя за счет увеличения рака гортани у женщин. В настоящей работе проведен расчет популяционного риска рака гортани населения Республики Беларусь, связанного с потреблением алкоголя.

Увеличение риска, связанного с потреблением 1 г алкоголя в день (в пересчете на чистый спирт), показано в табл. 1.

Таблица 1

Значение риска рака гортани, связанное с потреблением алкоголя

Table 1

Laryngeal cancer risk related to alcohol consumption

Локализация рака	Исследование	Увеличение риска, связанного с потреблением 1 г алкоголя в день
Гортань	Corrao et al. (2004)	0,0136

Для определения относительного риска для опухолей гортани были использованы данные метаанализа [3]. Они представляют оценку относительного риска (ОР), связанного со средним потреблением 0, 25, 50 и 100 г алкоголя в день. Авторы метаанализа оценивали ОР на грамм потребляемого алкоголя исходя из логлинейной модели взаимосвязи уровня потребления и риска.

Определение атрибутивной фракции

Популяционная атрибутивная фракция (ПАФ) – доля заболеваемости (смертности, инвалидности) в популяции, связанная с данным фактором риска. Рассчитывается путем деления добавочного популяционного риска на общую заболеваемость (смертность, инвалидность) в популяции:

$$ПАФ = \frac{\sum (p_x \times ERR_x)}{1 + \sum (p_x \times ERR_x)}, \quad (1)$$

где p_x – доля популяции по уровню потребления ($x=1\div 4$)

ERR_x – прирост относительного риска ($OP_x - 1$) при уровне потребления ($x=1\div 4$).

Прирост относительного риска для каждого уровня потребления алкоголя, приведенных в табл. 2 и 3, рассчитаны по формуле (2):

$$ERR_x = e^{R_g \cdot V_x} - 1, \quad (2)$$

где R_g – увеличение риска, связанного с потреблением 1 г алкоголя в день (табл. 1),

V_x – потребление алкоголя (грамм в день) для каждого уровня потребления (табл. 2, 3).

Распространенность воздействия алкоголя

Латентный период или интервал между потреблением алкоголя и соответствующим увеличением риска заболеть тем или иным видом рака не известен. По литературным данным, такой период составляет не менее 15-ти лет [4] и, следовательно, проводили расчет дополнительных случаев опухолей в 2015 г., связанных с потреблением алкоголя в 2000 г.

Существуют два основных способа измерения количества потребленного алкоголя: подсчет количества потребленного алкоголя на основании опросов населения и подсчет количества проданного алкоголя. Так как в большинстве эпидемиологических исследований, посвященных оценкам влияния потребления алкоголя на риск развития рака, воздействие алкоголя оценивается именно по потреблению, в настоящей работе в основу экспозиции распространенности воздействия алкоголя были использованы данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по уровням потребления [5].

На основании оценок ВОЗ были составлены таблицы повозрастного распределения мужского и женского населения Республики Беларусь по уровням потребления алкоголя в 2000 г. (табл. 2, 3).

Как следует из табл. 2 и 3, потребление алкоголя большинством мужского и женского населения Республики Беларусь соответствует второму уровню: до 40 г/день для мужчин и до 20 г/день для женщин. Следует отметить, что лишь 14,0 % женщин и 8,8 % мужчин в наиболее благоприятном для воспроизводства населения возрасте 15–29 лет не потребляют алкоголь (первый уровень потребления).

Расчеты (табл. 4) показали, что 36,2 % всех случаев рака гортани в 2015 г. могут быть связаны с потреблением алкоголя, причем для мужского населения доля «алкогольных» опухолей гортани составила 36,9 %, для женского населения – 13,7 %.

Таблица 2

Повозрастное распределение мужского населения Республики Беларусь по уровням потребления алкоголя в 2000 г., %

Table 2

Distribution of male population by age according to alcohol consumption in Belarus in 2000, %

Потребление алкоголя		Мужчины, возрастные группы, лет						
Уровень потребления	Грамм в день	15–29	30–44	45–59	60–69	70–79	>80	Всего 15+
1	0	8,8	8,8	11	16,4	21,9	21,9	14,8
2	20	60,2	66,2	58,4	62,9	66,9	66,9	63,6
3	50	18,8	15,9	18,5	13,2	6,7	6,7	13,3
4	80	12,3	9,1	12,1	7,5	4,5	4,5	8,3

Примечание. Уровень 1 – отказ от потребления; уровень 2 – 0–40 г/день; уровень 3 – 40–60 г/день; уровень 4 – более 60 г/день.

Таблица 3

Повозрастное распределение женского населения Республики Беларусь по уровням потребления алкоголя в 2000 г., %

Table 3

Distribution of female population by age according to alcohol consumption in Belarus in 2000, %

Потребление алкоголя		Женщины, возрастные группы, лет						
Уровень потребления	Грамм в день	15–29	30–44	45–59	60–69	70–79	80+	Всего, 15+
1	0	14	14	17,5	26,3	35,1	35,1	23,7
2	10	71,9	74,3	68,3	64,5	58,8	58,8	66,1
3	30	11,5	9,6	11,6	7,9	5,1	5,1	8,5
4	50	2,6	2	2,6	1,3	1,1	1,1	1,8

Примечание. Уровень 1 – отказ от потребления; уровень 2 – 0–20 г/день; уровень 3 – 20–40 г/день; уровень 4 – более 40 г/день.

Таблица 4

Оценка популяционной атрибутивной фракции (ПАФ) рака гортани в 2015 г., обусловленная потреблением алкоголя в 2000 г.

Table 4

Assessment of population attributable fraction (PAF) of laryngeal cancer in 2015 related to alcohol consumption in 2000

Возраст (лет)		Рак гортани		
Начало действия фактора риска	Результат действия фактора риска (+15 лет)	ПАФ	Число случаев	Число дополнительных случаев, обусловленных потреблением алкоголя
мужчины				
15–29	30–44	0,380	16	6
30–44	45–59	0,351	285	100
45–59	60–74	0,375	371	139,1
60–69	75–84	0,321	214	68,7
70–79	85+	0,266	60	15,9
80+				
Всего			892	329,7
%				36,9
женщины				
15–29	30–44	0,158	2	0,3
30–44	45–59	0,150	6	0,9
45–59	60–74	0,155	4	0,6
60–69	75–84	0,128	15	1,9
70–79	85+	0,109	0	0,0
80+				
Всего			27	3,7
%				13,7

Возраст (лет)		Рак гортани		
Начало действия фактора риска	Результат действия фактора риска (+15 лет)	PAF	Число случаев	Число дополнительных случаев, обусловленных потреблением алкоголя
все население				
15–29	30–44	18		6,3
30–44	45–59	291		100,9
45–59	60–74	375		139,7
60–69	75–84	229		70,6
70–79	85+	60		15,9
80+				333,4
Всего		919		36,2
%				

Результаты исследования и их обсуждение

Связь между употреблением алкоголя и риском рака гортани была предложена в начале 1900-х годов в серии работ и впервые была представлена в исследовании случай-контроль в 1950-х годах. В 1987 г. рабочая группа Международного агентства по исследованию рака (МАИР) классифицировала алкогольные напитки как «канцерогенные для человека» и сделала вывод о том, что рак гортани причинно связан с употреблением алкогольных напитков, который был подтвержден в последующих исследованиях [6].

Взаимосвязи между потреблением алкоголя и раком гортани посвящен ряд исследований, в частности, в аналитическом обзоре факторов питания, связанных с риском различных видов рака, сообщается о непрерывной криволинейной ассоциации доза-эффект между потреблением алкоголя и риском рака ротовой полости, гортани и трахеи [7].

Особый интерес представляют исследования, в которых дозозависимая взаимосвязь рака гортани с потреблением алкоголя рассмотрена с учетом принципов доказательной медицины, в частности, с использованием метааналитического подхода. Так, в результате метаанализа [3] показано, что потребление одной стандартной дозы алкоголя в день не связано с риском рака гортани, умеренное потребление алкоголя (от 1 до 4 доз в день) связано с 1,5-кратным увеличением риска, а тяжелое потребление алкоголя (более 4-х доз в день) связано примерно с 2,5-кратным увеличением риска по сравнению с нерегулярным потреблением алкоголя. Итак, потребление алкоголя связано с примерно двукратным увеличением риска рака гортани.

В нашем исследовании ожидаемо подтвердилась гипотеза о взаимосвязи между потреблением алкоголя и заболеваемостью раком гортани населения Республики Беларусь, особенно, мужского. Нами показано, что среди мужчин 330 случаев рака гортани (36,9 %) связаны с потреблением алкоголя, в то время как среди женщин 4 случая (13,7 %).

Настоящее исследование методологически имеет как сильные, так и слабые стороны. Наши оценки ПАФ, связанные с потреблением алкоголя, основаны на данных Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по половозрастной структуре потребления алкогольных напитков населением Европейского субрегиона С (Евро-С), к которому относится Республика Беларусь, в возрасте 15 лет и старше в 2000 г. [5]. Последующий наш анализ основан на предположении, что сочетание данных по потреблению алкоголя в 2000 г. и заболеваемости раком гортани в 2015 г. отражает период канцерогенеза, связанный с потреблением алкоголя, то есть примерно 15-летний латентный период между средним воздействием алкоголя и заболеваемостью раком.

Мы использовали аналогичную с проведенным в Великобритании исследовании методологию для оценки ПАФ [8]. Следует отметить, что даже при различных оценках риска и различных основных распределениях потребления алкоголя доли раковых заболеваний, ассоциированных с алкоголем, были близкими. Наши оценки ПАФ для Беларуси отличаются от рассчитанных МАИР для населения других стран. В частности, США и Великобритании [9], причиной чему может быть разные методологии. Так, МАИР при оценке ПАФ использовало порядковую шкалу уровней потребления алкоголя («высокий», «средний», «низкий»), а не числовую, как в настоящем исследовании. При оценке ПАФ для населения Франции МАИР использовало статистические данные о производстве, продажах, импорте и экспорте

алкоголя, которые впоследствии экстраполировали в оценки распространенности личного потребления [10]. Такая методология дает более высокие оценки потребления, чем методы, основанные на опросах о потреблении.

В настоящем исследовании при оценке ПАФ мы исходили из предположения, что воздействие алкоголя не зависит от других причинно-следственных факторов. Хотя мы использовали оценки относительного риска, которые были скорректированы с учетом потенциального влияния конфаундинг-факторов, полностью устранить смешение результатов исследования по таким факторам, как курение, плохое питание и низкая физическая активность, в такого рода исследованиях не представляется возможным. В частности, в настоящем исследовании отсутствует моделирование возможных взаимодействий между такими тесно связанными факторами, как курение и потребление алкоголя, которые могут влиять на рак гортани. Это связано с тем, что надежные оценки относительного риска для указанных взаимодействий отсутствуют.

Таким образом, некоторые из описанных в работе эффектов алкоголя, вероятно, связаны с курением. Кроме того, у нас не было данных о распространенности нерегулярного (от случая к случаю) потребления алкоголя, а также об оценках относительного риска заболеть раком гортани при такой модели потребления.

Наконец, в настоящей работе в качестве модели была принята лог-линейная ассоциация между потреблением алкоголя и риском рака, которая может оказаться не достаточно надежной для описания истинной биологической связи для изучаемых факторов риска. Действительно, существует вероятность, что возможные неблагоприятные последствия для здоровья, связанные с низким уровнем потребления алкоголя, могут быть недооценены в эпидемиологических исследованиях [11].

Заключение

Из работы следует, что более трехсот случаев рака гортани (36,2 %) в Республике Беларусь в 2015 г. были связаны с потреблением алкоголя. Необходимо отметить, что все раковые заболевания, связанные с алкоголем, также могут быть вызваны другими факторами, одни из которых становятся все более распространенными, а другие – менее значительными. Таким образом, любые будущие тенденции заболеваемости раком в каждом конкретном регионе будут отражать кумулятивные последствия изменений в распространенности всех причинно-следственных факторов для этого рака, подчеркивая важность постоянного мониторинга тенденций в распространенности факторов риска и заболеваемости раком.

Библиографический ссылки

1. Океанов А. Е., Моисеев П. И., Левин Л. Ф. Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2006–2015). Минск, 2016.
2. Океанов А. Е., Моисеев П. И., Евмененко А. А. и др. 25 лет против рака. Успехи и проблемы противораковой борьбы в Беларуси за 1990–2014 гг. Минск, 2016.
3. Corrao G., Bagnardi V., Zambon A. et al. A meta-analysis of alcohol consumption and the risk of 15 diseases // *Prev. Med.* 2004. Vol. 38. P. 613–619.
4. Altieri A., Garavello W., Bosetti C., et al. Alcohol consumption and risk of laryngeal cancer // *Oral Oncology*. 2005. Vol. 41. P. 956–965.
5. Rehm J., Room R., Monteiro M., et al. Alcohol use. In *Comparative quantification of health risks* // WHO, 2004. URL: <http://www.who.int/publications/cra/chapters/volume1/0959-1108.pdf> (date of access: 05.02.2017).
6. IARC Working Group. Alcohol drinking. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, 1988. Vol. 44.
7. World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. Washington, 2007.
8. Parkin D. M. Cancers attributable to consumption of alcohol in the UK in 2010 // *Br. J. Cancer*. 2011. Vol. 105, issue 2. P. 14–18.
9. World Cancer Research Fund. Policy and Action for Cancer Prevention, Food, Nutrition and Physical Activity: A Global Perspective. Washington, 2009.
10. International Agency for Research on Cancer Working Group. Attributable Causes of Cancer in France in the Year 2000. IARC Working Group Reports 3. Lyon, 2007.
11. Scoccianti C., Straif K., Romieu I. Recent evidence on alcohol and cancer epidemiology // *Future Oncol.* 2013. Vol. 919. P. 1315–1322.

References

1. Okeanov A. E., Moiseyev P. I., Levin L. F. Statistics of cancer diseases in the Republic of Belarus (2006–2015). Minsk, 2016 (in Russ.).

2. Okeanov A. E., Moiseyev P. I., Evmenenko A. A., et al. 25 years contrary cancer. The successes and challenges of cancer control in Belarus for the years 1990–2014. Minsk, 2016 (in Russ.).
3. Corrao G., Bagnardi V., Zambon A., et al. A meta-analysis of alcohol consumption and the risk of 15 diseases. *Prev. Med.* 2004. Vol. 38. P. 613–619.
4. Altieri A., Garavello W., Bosetti C., et al. Alcohol consumption and risk of laryngeal cancer. *Oral Oncol.* 2005. Vol. 10. P. 956–965.
5. Rehm J., Room R., Monteiro M., et al. (2004) Alcohol use. In *Comparative quantification of health risks*, URL: <http://www.who.int/publications/cra/chapters/volume1/0959-1108.pdf> (date of access: 05.02.2017).
6. IARC Working Group. (1988) Alcohol drinking. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 44. Lyon: IARC Press.
7. World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. Washington, DC: American Institute for Cancer Research. 2007.
8. Parkin D. M. Cancers attributable to consumption of alcohol in the UK in 2010. *Br. J. Cancer.* 2011. Vol. 105, issue 2. P. 14–18.
9. World Cancer Research Fund. Policy and Action for Cancer Prevention, Food, Nutrition and Physical Activity: A Global Perspective. Washington (DC) : American Institute for Cancer Research. 2009.
10. International Agency for Research on Cancer Working Group. Attributable Causes of Cancer in France in the Year 2000. IARC Working Group Reports 3. Lyon (FRC) : World Health Organization. 2007.
11. Scoccianti C, Straif K, Romieu I. Recent evidence on alcohol and cancer epidemiology. (2013) *Future Oncol.* 2013. No. 919. P. 1315–1322.

Статья поступила в редакцию 29.05.2017
Received by editorial board 29.05.2017

МЕХАНИЗМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРФИРИНОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ

**И. В. ЯКОВЕЦ^{1),2),3)}, И. В. ЯНКОВСКИЙ¹⁾, К. Н. БОРИСОВ¹⁾, К. А. ЖУКОВ¹⁾,
И. И. ХЛУДЕЕВ¹⁾, Л. Н. БОЛОТИНА^{2),3)}, В. П. ЗОРИН^{1),4)}**

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

²⁾Центр Исследований и Автоматизации Нанси,
CNRS UMR 7039 Национальный центр научных исследований, Университет Лотарингии, Кампус наук,
54500, г. Вандовр-Нанси, Франция

³⁾Институт канцерологии Лотарингии,
пр. Бургундии, 6, 54519, г. Вандовр-Нанси, Франция

⁴⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Предложен новый метод флуоресцентного анализа процессов распределения неполярного порфиринового фотосенсибилизатора темпорфина (mTHPC) между основными транспортными белками сыворотки крови. Данный метод включает в себя использование циклических олигосахаридов (циклодекстринов) для предотвращения агрегации препарата и количественного определения основных характеристик его связывания с белками сыворотки крови на основании кривых конкурентного связывания. Процессы связывания mTHPC с сывороточным альбумином человека, липопротейны низкой плотности и липопротейнами высокой плотности были исследованы на основании анализа кривых титрования циклодекстрином. Полученные значения констант ассоциации mTHPC с циклодекстринами были использованы для количественного определения коэффициентов распределения mTHPC между компонентами сыворотки крови. Были получены следующие значения интегральных коэффициентов распределения: сывороточный альбумин человека – $2,6 \text{ (мг/мл)}^{-1}$, липопротейны низкой плотности – $4,8 \times 10^2 \text{ (мг/мл)}^{-1}$, липопротейны высокой плотности – $1,0 \times 10^3 \text{ (мг/мл)}^{-1}$. Соотношения интегральных коэффициентов распределения mTHPC, полу-

Образец цитирования:

Яковец И. В., Янковский И. В., Борисов К. Н., Жуков К. А., Хлудеев И. И., Болотина Л. Н., Зорин В. П. Механизмы распределения порфириновых фотосенсибилизаторов в сыворотке крови // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 72–80.

For citation:

Yakovets I. V., Yankovsky I. V., Barysau K. N., Jukov K. F., Khludeyev I. I., Bolotine L. N., Zorin V. P. Porphyrin photosensitizer distribution mechanisms in blood serum. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 73–80 (in Russ.).

Авторы:

Илья Владимирович Яковец – младший научный сотрудник НИЛ биофизики и биотехнологии, аспирант кафедры биофизики. Научный руководитель – В. П. Зорин.

Игорь Вячеславович Янковский – доктор философии; ассистент кафедры общей физики.

Кирилл Николаевич Борисов – студент физического факультета. Научный руководитель – В. П. Зорин.

Константин Андреевич Жуков – студент физического факультета. Научный руководитель – В. П. Зорин.

Иван Иванович Хлудеев – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИЛ биофизики и биотехнологии.

Лина Николаевна Болотина – доктор философии, доктор медицины; руководитель исследовательского отдела.

Владимир Петрович Зорин – кандидат биологических наук, доцент; заведующий НИЛ биофизики и биотехнологии.

Authors:

Ilya V. Yakovets, junior researcher at the laboratory of biophysics and biotechnology, post-graduate student at the department of biophysics.

i.yakovets@gmail.com

Igor V. Yankovsky, doctor of science (philosophy); assistant of the department of common physics.

lubom@tut.by

Kirill N. Barysau, student of the faculty of physics.

kirill_borisov98@mail.ru

Konstantin A. Jukov, student of the faculty of physics.

mr.kas1278@mail.ru

Ivan I. Khludeyev, PhD (biological); senior researcher of the laboratory of biophysics and biotechnology.

ivan2khl@mail.ru

Lina N. Bolotine, doctor of science (philosophy), doctor of science (medicine); head of research department.

l.bolotine@nancy.unicancer.fr

Vladimir P. Zorin, PhD (biology) associate professor; head of the laboratory of biophysics and biotechnology.

vporin@mail.ru

ченных данным методом, при связывании с белками плазмы хорошо согласуются с полученными ранее данными оценки относительного сродства данного хлорина к белкам плазмы методом гель-хроматографии.

Ключевые слова: темпорфин; фотосенсибилизатор; сыворотка крови; комплексы включения; циклодекстрины.

Благодарность. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) (проект № Б17-106), Министерства образования Республики Беларусь (совместный проект с БРФФИ № Ф16МВ-006), Института Канцерологии Лотарингии (Нанси, Франция) и Французской «Национальной лиги по борьбе с раком (CCIR-GE)». Авторы благодарят BIolitec Research GmbH (Йена, Германия) за предоставление мТНПС.

PORPHYRIN PHOTSENSITIZER DISTRIBUTION MECHANISMS IN BLOOD SERUM

*I. V. YAKAVETS^{a, b, c}, I. V. YANKOVSKY^a, K. N. BARISAY^a, K. A. JUKOV^a,
I. I. KHLUDEYEV^a, L. N. BOLOTINE^{b, c}, V. P. ZORIN^{a, d}*

^aBelarusian State University,

Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

^bResearch Centre for Automatic Control of Nancy,

University of Lorraine, Science Campus, 54500, Vandoevr-Nancy, France

^cLorraine Institute of Oncology,

Burgundy avenue, 6, 54519, Vandoevr-Nancy, France

^dBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute

Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: i.yakavets@gmail.com

A new fluorescent technique to monitor the distribution processes of non-polar porphyrin photosensitizer temoporfin (mTHPC) between main blood serum proteins has been described. The technique proposed includes the use of cyclic oligosaccharides (cyclodextrins) to prevent aggregation of the compound and to quantitatively estimate the main characteristics of mTHPC binding to the serum proteins. To determine the mTHPC affinity to transport serum proteins we have analysed the processes of mTHPC binding to methyl- β -cyclodextrin in serum proteins solutions (human serum albumin, low and high density lipoproteins). The obtained titration curves and previously determined binding constants values for the mTHPC association with methyl- β -cyclodextrin process were used to estimate relative mTHPC affinity to main transport serum proteins. The resulting values of the integrated distribution coefficients were as follows: $2,6 \text{ (mg/ml)}^{-1}$ for human serum albumin, $4,8 \times 10^2 \text{ (mg/ml)}^{-1}$ for low density lipoproteins and $1,0 \times 10^3 \text{ (mg/ml)}^{-1}$ for high density lipoproteins. The ratios of mTHPC distribution coefficients in plasma compounds were in a good accordance with the data obtained by means of the gel-chromatography.

Key words: temoporfin; photosensitizer; blood serum; inclusion complexes; cyclodextrins.

Acknowledgements. This work was supported by Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (BRFFR) (project number Б17-106) and the Ministry of Education of Belarus (joint project with BRFFR number Ф16МВ-006), Institut de Cancérologie de Lorraine, French «Ligue Nationale contre le Cancer (CCIR-GE)». The authors thank biolitec research GmbH (Jena, Germany) for providing mTHPC.

Введение

Фармакокинетика лекарственных средств, вводимых внутривенно, в значительной степени определяется процессами их взаимодействия с транспортными белками сыворотки крови. Связывание с белками сыворотки предотвращает агрегацию лекарственных средств и способствует дальнейшей транспортировке по организму. В случае фотодинамической терапии (ФДТ), природа белка-«переносчика» оказывает влияние на механизмы распределения молекул фотосенсибилизатора (ФС) в опухолевой ткани. Так, перенос молекул ФС в комплексах с сывороточным альбумином увеличивает эффективность повреждения васкулярной системы и стромы опухоли при фотодинамическом воздействии, в то время как транспорт ФС в составе липопротеинов способствует доставке сенсбилизатора в опухолевые клетки [1]. Таким образом, определение характеристик процессов распределения препаратов в сыворотке крови является важной задачей, требующей разработки специальных физико-химических методов. В случае ФДТ, применение методов прямого определения характеристик распределения ФС

(таких, как ультрацентрифугирование, хроматография, электрофорез) не представляется возможным из-за слабой растворимости большинства используемых порфириновых ФС.

Хорошо известно, что липофильность ФС обуславливает оптимальную локализацию ФС в клеточных и тканевых структурах опухоли [2]. Порфириновые ФС являются преимущественно гидрофобными молекулами и обладают достаточно оптимальными фотофизическими свойствами с точки зрения ФДТ (высокий квантовый выход генерации синглетного кислорода, расположение интенсивной полосы поглощения в окне «прозрачности» биологических тканей и т. д.) [3], в связи с чем нашли широкое применение в клинической практике (Фотолон®, Foscan®, Verteporfin®, Радахлорин®, Tookad®, МАСЕ® и др. [4]). Одним из наиболее эффективных порфириновых ФС является Темопорфин (mTHPC, рис. 1), одобренный к клиническому использованию в Евросоюзе в 2001 г. для паллиативного лечения рака головы и шеи [5]. В настоящей работе будут описаны механизмы распределения порфириновых ФС в сыворотке крови на примере mTHPC.

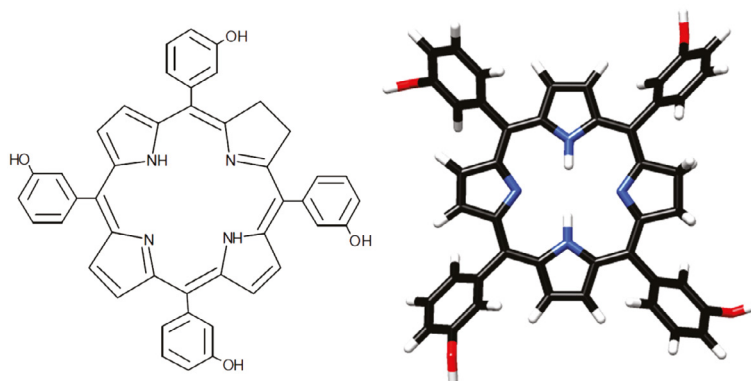


Рис. 1. Молекулярная и стерическая структура mTHPC

Fig. 1. Molecular and steric structures of mTHPC

Методы прямого определения сродства mTHPC к белкам сыворотки ограничиваются агрегацией его молекул в водной среде, в том числе и в крови. Для предотвращения процессов агрегации mTHPC был предложен ряд таких фармакологических форм, как липосомы, полимерные наночастицы, эмульсии с органическими растворителями, а также комплексы включения [6]. Согласно полученным ранее данным [7–8], производные β -ЦД с высокой эффективностью образуют комплексы включения по механизму «гость-хозяин» с mTHPC (рис. 2). Полученные константы ассоциации для комплексов включения mTHPC с М- β -ЦД принимают значения более чем 10^5 M^{-1} [8]. Столь высокие константы сродства mTHPC с М- β -ЦД объясняют значительное влияние ЦД на процессы распределения mTHPC в крови и в организме в целом [9–10]. В данной работе предлагается использовать производные β -ЦД для количественной оценки сродства mTHPC и других структурно подобных ФС к отдельным белкам сыворотки крови. С этой целью оптическими методами исследовались процессы связывания mTHPC между метил- β -циклодекстрином (М- β -ЦД) и изолированными белками сыворотки крови.

Материалы и методы исследования

Реагенты. mTHPC предоставленный компанией biolitec research GmbH (Германия), растворяли в 99,6 %-ном этиловом спирте до получения концентрации 1×10^{-3} моль/л. В работе использовали эмбриональную сыворотку телят производства «Sigma Aldrich», а также М- β -ЦД производства AraChem (Нидерланды). Содержание основного вещества составляло не менее 99 %.

Водные растворы готовили на основе фосфатно-солевого буфера (ФСБ) (8 г NaCl, 0,20 г KCl, 1,44 г Na_2HPO_4 и 0,24 г KH_2PO_4 на 1 л раствора; pH=7,4). Стоковый раствор буфера при работе был разбавлен дистиллированной водой в соотношении 1:1.

Выделение компонентов сыворотки. Для выделения липопротеинов низкой (ЛНП) и высокой (ЛВП) плотности использовали последовательное центрифугирование при 40000 g в течение 36 ч на центрифуге Spinco (ЛКВ, Швеция). Объемную плотность образцов сыворотки крови доводили с помощью КВг до значений 1,063 г/мл (для ЛНП), а затем до 1,210 г/мл (для ЛВП). Полученные образцы переводили в ФСБ с помощью диализа.

Согласно [11], идентификацию выделенных фракций проводили с использованием биохимических методик анализа, оценивая при необходимости содержание белка, фосфолипидов, триглицеридов, свободного холестерина и его эфиров.

Фотометрические и флуоресцентные измерения. Характеристики флуоресценции измерялись с использованием спектрофлуориметра Solar CM-2203 (SOLAR, Беларусь), оборудованном термостатируемой ячейкой с магнитной мешалкой. Измерение концентрации мТГФХ проводили фотометрически на длине волны $\lambda=650$ нм (коэффициент экстинкции $\epsilon=30000$ М⁻¹·см⁻¹ [12]). Оптическая плотность всех образцов на длинах волн возбуждения и регистрации флуоресценции не превышала 0,15.

Спектрально-флуоресцентный метод определения доли ФС, связанного с ЦД. Для измерения количества ФС, связанного с молекулами М- β -ЦД, в сыворотке крови использовали спектральный метод, основанный на спектральных особенностях полосы Core мТНРС при связывании с биологическими структурами [13–14]. В работе использовались следующие длины волн возбуждения флуоресценции: $\lambda_1=407$ нм и $\lambda_2=422$ нм. Регистрация флуоресценции проводилась на длине волны $\lambda=652$ нм. Для количественного описания спектрально-флуоресцентных изменений полосы Core мТНРС использовалось отношение интенсивностей флуоресценции при возбуждении на $\lambda_1=407$ нм и $\lambda_2=422$ нм ($I_{\lambda_1}/I_{\lambda_2}$).

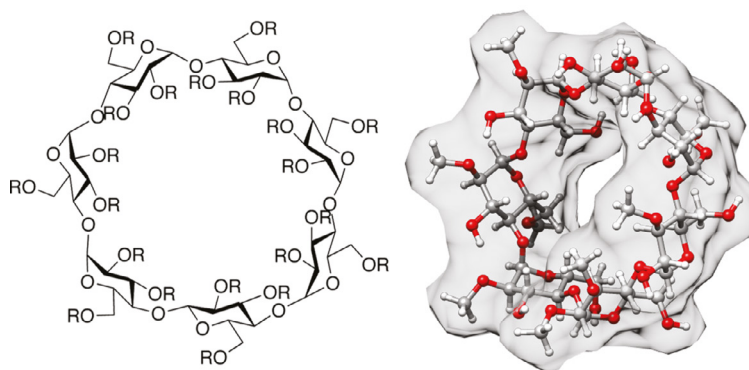


Рис. 2. Молекулярная и стерическая структура β -циклодекстрина

Fig. 2. Molecular and steric structures of β -cyclodextrin

Эксклюзионная гель-хроматография. мТНРС (1,5 мкМ) предварительно инкубировали в водных растворах 2 % сыворотки с различными концентрациями М- β -ЦД в течение 2 часов при температуре 37 °С в темноте. Методика разделения и биохимический анализ белковых фракций соответствовали описанным ранее [15], за исключением использования хроматографической колонки 1,5×35 см (Sigma, США), заполненной гелем Sephadex G-200 (GE Healthcare, США). Концентрацию мТНРС в хроматографических фракциях определяли путем измерения интенсивности флуоресценции ФС после добавления к образцу 0,2 % нейтрального детергента Triton® X-100. Значения интенсивностей флуоресценции были скорректированы с учетом объема фракции и раствора детергента.

Результаты исследований и их обсуждение

Используя техники ультрацентрифугирования и гель-хроматографии были изучены особенности процессов мТНРС между основными транспортными белками сыворотки крови [15–16]. Техника гель-хроматография позволяет проводить разделение раствора сывороточных белков по фракциям, согласно их размерам/массе. На рис. 3 представлена типичная хроматограмма раствора сыворотки крови. Использование техники биохимических маркеров показывает, что в-первую очередь из колонки выходят самые крупные транспортные белки – липопротеины низкой плотности (объем исключения 20–27 мл). Во фракциях второй полосы хроматограммы с объемами исключения от 27 до 35 мл находятся липопротеины высокой плотности и макроглобулины. В последнюю очередь из хроматографической колонки выходят сывороточный альбумин и иммуноглобулины (3 полоса, объем исключения 35–45 мл).

При пропускании через колонку образца сыворотки, окрашенного мТНРС, на основании анализа концентрации мТНРС во фракциях элюента можно количественно определить равновесное распределение ФС между белковыми компонентами (рис. 2) [10; 15]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что мТНРС в сыворотке крови распределяется следующим образом: почти 60 % связывается с липопротеинами высокой плотности, чуть более 35 % – с липопротеинами низкой плотности и около 5 % с другими сывороточными белками (кривая 1, рис. 4).

Формирование комплекса мТНРС с ЦД является обратимым процессом, то есть каждая молекула мТНРС может диссоциировать с последующим связыванием с другими молекулами (например, белками сыворотки) [10]. При добавлении малых концентраций М- β -ЦД (до 1 мкМ) изменений равновесного распределения мТНРС между белков сыворотки не наблюдаются. В случае высоких концентраций М- β -ЦД (более 50 мкМ), часть ФС связывается с ЦД, что приводит к появлению нового пика

на хроматограмме (объем исключения 50–70 мл). Таким образом, в силу малых размеров (около 3 нм [17]), комплексы включения выходят из хроматографической колонки после всех белков сыворотки крови. Относительный вес данного пика зависит от концентрации М-β-ЦД и концентрации белков сыворотки. Увеличение концентрации ЦД сопровождается ростом относительного веса фракции mТНРС в составе комплексов включения, в то время как при увеличении концентрации сыворотки наблюдается обратный эффект. Следует отметить, что присутствие М-β-ЦД не оказывает влияния на распределение mТНРС между основными транспортными сывороточными белками, что предполагает возможность использования ЦД для определения количественных характеристик связывания ФС с отдельными компонентами сыворотки крови.

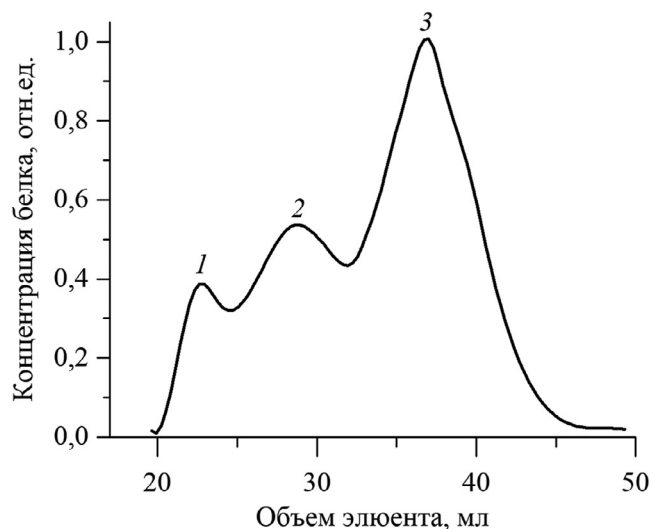


Рис. 3. Типичная хроматограмма белков сыворотки крови: 1 – липопротеины низкой плотности, 2 – липопротеины высокой плотности и макроглобулины, 3 – сывороточный альбумин и иммуноглобулины низкой плотности

Fig. 3. Typical chromatogram of blood serum proteins: 1 – low density lipoproteins, 2 – high density lipoproteins and macroglobulins, 3 – serum albumin and low density immunoglobulins

Результаты хроматографического анализа по распределению mТНРС между белками сыворотки и М-β-ЦД коррелируют с данными, полученными оптическими методами, разработанными в НИЛ биофизики и биотехнологии БГУ (Минск, Беларусь). Согласно работам [10; 13; 14], различия оптических характеристик mТНРС в составе комплексов включения с ЦД и в составе комплексов с белками сыворотки (величина кругового дихроизма, степень поляризации флуоресценции и др.) могут быть использованы для количественного анализа равновесных процессов распределения mТНРС. Более того, разработанные оптические методы позволяют детально изучать относительно быстрые кинетические процессы распределения ФС в сыворотке.

На рис. 5 представлены кинетики распределения mТНРС между комплексами включения с М-β-ЦД и белками сыворотки крови с использованием спектрально-флуоресцентной методики, основанной на изменении формы полосы *Sore* mТНРС при связывании с различными биологическими структурами [13; 14]. Как было показано ранее, связывание молекулы mТНРС с белками сыворотки крови приводит к уменьшению интенсивности одной из компонент полосы *Sore* mТНРС, вследствие конформационных изменений молекулы mТНРС, в то время как при образовании комплексов включения с ЦД наблюдается обратный эффект. Для количественного описания данной спектральной особенности было предложено использовать отношения интенсивностей флуоресценции mТНРС при возбуждении в различных участках полосы *Sore* $I_{\lambda_1}/I_{\lambda_2}$. В случае перераспределения mТНРС между М-β-ЦД и белками сыворотки крови использовался возбуждающий свет с длинами волн $\lambda_1 = 407$ нм и $\lambda_2 = 422$ нм. Таким образом, при связывании ФС с молекулами ЦД величина $I_{407}/I_{422} = 0,63$.

Изменение концентрации ЦД в сыворотке крови сопровождается смещением равновесия в процессах образования комплексов включения, что обуславливает перераспределение ФС между комплексами включения и белками сыворотки, о чем свидетельствует уменьшение параметра I_{407}/I_{422} . При этом полному связыванию mТНРС с белковыми структурами соответствует значение параметра $I_{407}/I_{422} = 0,41$. В зависимости от концентрации М-β-ЦД равновесные значения I_{407}/I_{422} достигаются в течение 5–10 мин. Следует отметить, что увеличение концентрации сыворотки в 5 раз (от 1 до 5 %) приводит

к ускорению процесса перераспределения и смещению равновесного распределения mTHPC в сторону белков сыворотки.

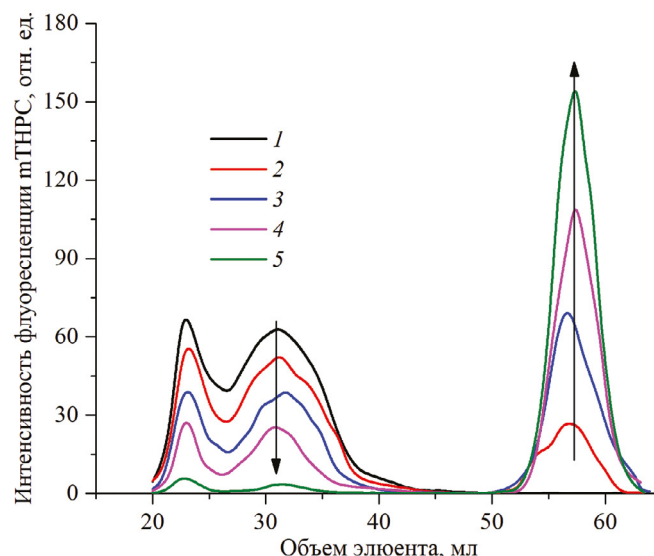


Рис. 4. Профили элюции 2 % раствора сыворотки с 1,5 мкМ mTHPC с добавлением различных концентраций M-β-ЦД: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 200 мкМ

Fig. 4. Elution profiles of blood serum (2 %) with 2 μM mTHPC with addition of various M-β-CD concentrations: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 200 μM

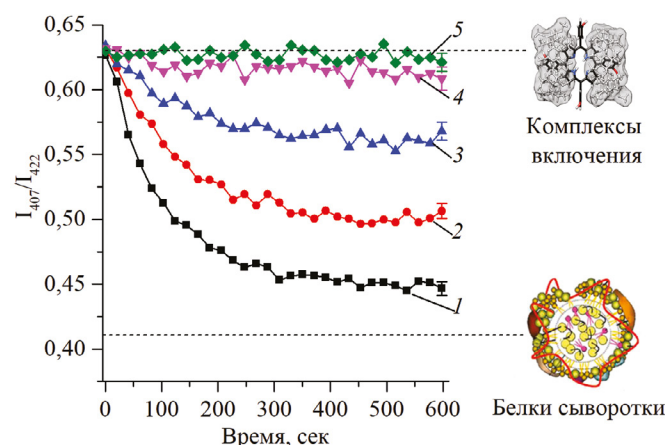


Рис. 5. Кинетики перераспределения mTHPC (0,5 мкМ) на транспортные белки сыворотки из состава комплексов включения с M-β-ЦД: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 50; 5 – 200 мкМ. Концентрация сыворотки – 1 %.

Fig. 5. Redistribution kinetics of 0,5 μM mTHPC to transport serum proteins from inclusion complexes with M-β-CD: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 50; 5 – 200 μM

Спектрально-флуоресцентные методы позволяют исследовать процессы равновесного связывания mTHPC с отдельными компонентами сыворотки крови. На рис. 6 представлены кривые равновесного распределения mTHPC между отдельными компонентами сыворотки крови и M-β-ЦД. Полученные результаты свидетельствуют о различном сродстве mTHPC к отдельным белкам сыворотки крови. Аналогичные результаты были получены с использованием методического подхода, основанного на изменении анизотропии флуоресценции mTHPC [10]. В данном подходе используются различия в скорости вращательной релаксации mTHPC в составе комплексов с белками сыворотки крови и ЦД, обусловленные различиями их размеров/масс. Так, в случае комплексов включения mTHPC с ЦД (размер 2–3 нм [17]) величина степени поляризации не превышает 3–4 %, то связывание mTHPC в составе

относительно больших белков сыворотки крови (8–30 нм [18]) обеспечивает высокое значение степени поляризации флуоресценции ФС (25–30 %).

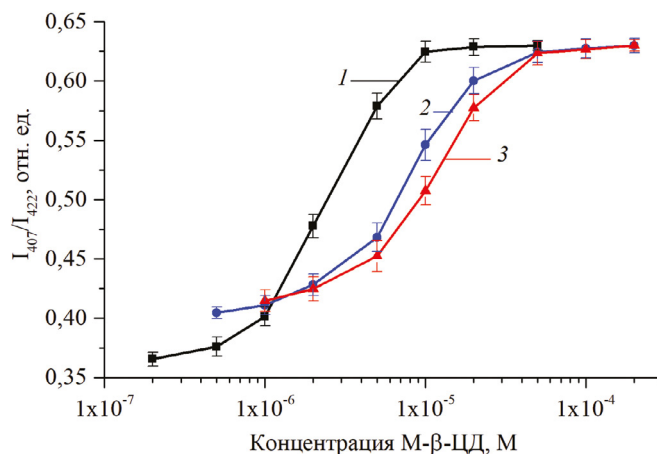


Рис. 6. Зависимость параметра I_{407}/I_{422} полосы Соре mTHPC (0,5 мкМ) при связывании с компонентах сыворотки крови от концентрации М-β-ЦД в растворе: 1 – сывороточный альбумин человека (2 мг/мл); 2 – липопротеины низкой плотности (0,1 мг/мл); 3 – липопротеины высокой плотности (0,1 мг/мл).

Fig. 6. Dependence of I_{407}/I_{422} Soret Band parameter of 0,5 μ M mTHPC bound to serum components on M- β -CD concentration in solution of: 1 – human serum albumin (2 mg/ml); 2 – low density lipoproteins (0,1 mg/ml); 3 – high density lipoproteins (0,1 mg/ml)

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что М-β-ЦД оказывают значительное влияние на процессы распределения mTHPC между белками сыворотки крови. Установленные закономерности изменения относительного содержания комплексов включения mTHPC с М-β-ЦД в сыворотке крови в зависимости от концентрации М-β-ЦД свидетельствуют о том, что наличие стабильных комплексов включения mTHPC с М-β-ЦД наблюдается лишь при добавлении высоких концентраций М-β-ЦД (более 5 мкМ). Наличие таких молекул ФС имеет принципиальное значение в условиях распределения β-ЦД в крови, так как комплексы включения отличаются по фармакокинетическим свойствам от сывороточных белков. В то же время присутствие М-β-ЦД не оказывает влияния на распределение mTHPC между основными транспортными белками сыворотки крови, что позволяет нам использовать ЦД для количественной оценки характеристик связывания ФС с основными компонентами сыворотки крови.

Количественная оценка коэффициентов распределения mTHPC между основными компонентами сыворотки. На основании полученных в ходе работы данных был предложен метод определения сродства слаборастворимых ФС к биологическим структурам. Данный метод основан на анализе кривых титрования раствора препарата с биологическими структурами производными ЦД. Анализ полученных кривых титрования с использованием определенных ранее констант ассоциации с ЦД позволяет в свою очередь количественно оценить коэффициенты распределения mTHPC в случае различных компонентов сыворотки крови.

Для количественного анализа полученных кривых титрования были использованы константы ассоциации mTHPC с М-β-ЦД, полученные ранее в лаборатории НИЛ биофизики и биотехнологии БГУ (Минск, Беларусь) [19]. Были определены следующие интегральные коэффициенты распределения (константы ассоциации в случае сывороточного альбумина) mTHPC с основными белками сыворотки крови (K_s): сывороточный альбумин человека – $2,6$ (моль/л) $^{-1}$, липопротеины низкой плотности – $4,8 \times 10^2$ (моль/л) $^{-1}$, липопротеины высокой плотности – $1,0 \times 10^3$ (моль/л) $^{-1}$. Соотношения полученных данных методом коэффициентов распределения mTHPC при связывании с белками плазмы хорошо согласуются с полученными ранее данными оценки относительного сродства данного ФС к белкам плазмы методом гель-хроматографии [15].

Заключение

В ходе работы было изучено влияние М-β-ЦД на кинетические и равновесные процессы распределения mTHPC в сыворотке крови. Определены константы ассоциации mTHPC с основными транспортными белками сыворотки и установлены закономерности изменения относительного содержания комплексов включения mTHPC с ЦД в сыворотке крови в зависимости от концентрации ЦД. Процессы перераспределения ФС определяются механизмами конкурентного связывания и носят обратимый

характер. Увеличение концентрации ЦД ведет к смещению равновесия в сторону комплексов включения и появлению в сыворотке крови фракции молекул ФС, связанных с ЦД. Полученные результаты позволяют предположить значительное влияние молекул ЦД на процессы проникновения и распределения mTHPC в опухолевой ткани.

Библиографические ссылки

1. Jori G., Reddi E. The role of lipoproteins in the delivery of tumour-targeting photosensitizers // *Int. J. Biochem.* 1993. Vol. 25 (10). P. 1369–1375.
2. Castano A. P., Demidova T. N., Hamblin M. R. Mechanisms in photodynamic therapy: part one-photosensitizers, photochemistry and cellular localization // *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 2004. Vol. 1 (4). P. 279–293.
3. Agostinis P., Berg K., Cengel K. A., et al. Photodynamic therapy of cancer: An update // *CA. Cancer J. Clin.* 2011. Vol. 61(4). P. 250–281.
4. Abrahamse H., Hamblin M. R. New photosensitizers for photodynamic therapy // *Biochem. J.* 2016. Vol. 473. (4). P. 347–364.
5. Senge M. O., Brandt J. C. Temoporfin (Foscan®, 5,10,15,20-tetra(m-hydroxyphenyl)chlorin) - a second-generation photosensitizer // *Photochem. Photobiol.* 2011. Vol. 87 (6). P. 1240–1296.
6. Marchal S. El Hor A., Millard M., et al. Anticancer Drug Delivery: An Update on Clinically Applied Nanotherapeutics // *Drugs.* 2015. Vol. 75 (14). P. 1601–1611.
7. Demore D., Kasselouri A., Bourdon O., et al. Enhancement of 5,10,15,20-Tetra(m-Hydroxyphenyl)chlorin Fluorescence Emission by Inclusion in Natural and Modified Cyclodextrins // *Appl. Spectrosc.* 1999. Vol. 53 (5). P. 523–527.
8. Bautista-Sanchez A., Kasselouri A., Desroches M. C., et al. Photophysical properties of glucoconjugated chlorins and porphyrins and their associations with cyclodextrins // *J. Photochem. Photobiol. B.* 2005. Vol. 81 (3). P. 154–162.
9. Stella V. J., He Q. Cyclodextrins // *Toxicol. Pathol.* 2008. Vol. 36 (1). P. 30–42.
10. Yankovsky I., Bastien E., Yakavets I., et al. Inclusion complexation with β -cyclodextrin derivatives alters photodynamic activity and biodistribution of meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin // *Eur. J. Pharm. Sci. Off. J. Eur. Fed. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 91. P. 172–182.
11. Wasan K., Cassidy S. M., Kennedy A. L., et al. Lipoprotein Isolation and Analysis from Serum by Preparative Ultracentrifugation // *Methods Mol. Medicine.* 2001. Vol. 52. P. 27–35.
12. Bonnett R., Charlesworth P., Djelal B. D., et al. (m-THPP), 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)chlorin (m-THPC) and 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)bacteriochlorin (m-THPBC): a comparative study // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2.* 1999. Vol. 2. P. 325–328.
13. Яковец И. В., Янковский И. В., Болотина Л. Н. и др. Особенности спектральных характеристик мета-тетра(гидроксифенил)хлорина в биологических системах // *Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика.* 2015. № 2. С. 39–45.
14. Yakavets I., Yankovsky I., Bolotine L., et al. Soret band shape indicates mTHPC distribution between β -cyclodextrins and serum proteins // *Dyes Pigments.* 2017. Vol. 137. P. 299–306.
15. Sasnouski S., Zorin V., Khludeyev I., et al. Investigation of Foscan interactions with plasma proteins // *Biochim. Biophys. Acta.* 2005. Vol. 1725 (3). P. 394–402.
16. Michael-Titus A. T., Whelpton R., Yaqub Z. Binding of temoporfin to the lipoprotein fractions of human serum. // *Br. J. Clin. Pharmacol.* 1995. Vol. 40 (6). P. 594–597.
17. Glisoni R. J., Chiappetta D. A., Moglioni A. G., et al. Novel 1-indanone Thiosemicarbazone Antiviral Candidates: Aqueous Solubilization and Physical Stabilization by Means of Cyclodextrins // *Pharm. Res.* 2011. Vol. 29 (3). P. 739–755.
18. Dobiášová M., Urbanová Z., Samánek M. Relations between particle size of HDL and LDL lipoproteins and cholesterol esterification rate // *Physiol. Res. Acad. Sci. Bohemoslov.* 2005. Vol. 54 (2). P. 159–165.
19. Яковец И. В., Янковский И. В., Борисов К. Н. и др. Spectral techniques for photosensitizer redistribution in blood serum // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния : материалы третьей Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 11–12 мая 2017 г.). Минск, 2017. С. 154–156.

References

1. Jori G., Reddi E. The role of lipoproteins in the delivery of tumour-targeting photosensitizers. *Int. J. Biochem.* 1993. Vol. 25 (10). P. 1369–1375.
2. Castano A. P., Demidova T. N., Hamblin M. R. Mechanisms in photodynamic therapy: part one-photosensitizers, photochemistry and cellular localization. *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 2004. Vol. 1 (4). P. 279–293.
3. Agostinis P., Berg K., Cengel K. A., et al. Photodynamic therapy of cancer: An update. *CA. Cancer J. Clin.* 2011. Vol. 61(4). P. 250–281.
4. Abrahamse H., Hamblin M. R. New photosensitizers for photodynamic therapy. *Biochem. J.* 2016. Vol. 473. (4). P. 347–364.
5. Senge M. O., Brandt J. C. Temoporfin (Foscan®, 5,10,15,20-tetra(m-hydroxyphenyl)chlorin) - a second-generation photosensitizer. *Photochem. Photobiol.* 2011. Vol. 87 (6). P. 1240–1296.
6. Marchal S. El Hor A., Millard M., et al. Anticancer Drug Delivery: An Update on Clinically Applied Nanotherapeutics. *Drugs.* 2015. Vol. 75 (14). P. 1601–1611.
7. Demore D., Kasselouri A., Bourdon O., et al. Enhancement of 5,10,15,20-Tetra(m-Hydroxyphenyl)chlorin Fluorescence Emission by Inclusion in Natural and Modified Cyclodextrins. *Appl. Spectrosc.* 1999. Vol. 53 (5). P. 523–527.
8. Bautista-Sanchez A., Kasselouri A., Desroches M. C., et al. Photophysical properties of glucoconjugated chlorins and porphyrins and their associations with cyclodextrins. *J. Photochem. Photobiol. B.* 2005. Vol. 81 (3). P. 154–162.
9. Stella V. J., He Q. Cyclodextrins. *Toxicol. Pathol.* 2008. Vol. 36 (1). P. 30–42.
10. Yankovsky I., Bastien E., Yakavets I., et al. Inclusion complexation with β -cyclodextrin derivatives alters photodynamic activity and biodistribution of meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin. *Eur. J. Pharm. Sci. Off. J. Eur. Fed. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 91. P. 172–182.

11. Wasan K., Cassidy S. M., Kennedy A. L., et al. Lipoprotein Isolation and Analysis from Serum by Preparative Ultracentrifugation. *Methods Mol. Medicine*. 2001. Vol. 52. P. 27–35.
12. Bonnett R., Charlesworth P., Djelal B. D., et al. (m-THPP), 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)chlorin (m-THPC) and 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)bacteriochlorin (m-THPBC): a comparative study. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2*. 1999. Vol. 2. P. 325–328.
13. Yakovec, I. V., Yankovsky I. V., Bolotina L. N., et al. Spectral characteristics of meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin in biological systems. *Vestnik BSU. Seriya I, Physics. Mathematics. Information Science*. 2015. No 2. P. 39–45 (in Russ.).
14. Yakavets I., Yankovsky I., Bolotina L., et al. Soret band shape indicates mTHPC distribution between β -cyclodextrins and serum proteins. *Dyes Pigments*. 2017. Vol. 137. P. 299–306.
15. Sasnouski S., Zorin V., Khluduev I., et al. Investigation of Foscan interactions with plasma proteins. *Biochim. Biophys. Acta*. 2005. Vol. 1725 (3). P. 394–402.
16. Michael-Titus A. T., Whelpton R., Yaqub Z. Binding of temoporfin to the lipoprotein fractions of human serum. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 1995. Vol. 40 (6). P. 594–597.
17. Glisoni R. J., Chiappetta D. A., Moglioni A. G., et al. Novel 1-indanone Thiosemicarbazone Antiviral Candidates: Aqueous Solubilization and Physical Stabilization by Means of Cyclodextrins. *Pharm. Res.* 2011. Vol. 29 (3). P. 739–755.
18. Dobiášová M., Urbanová Z., Samánek M. Relations between particle size of HDL and LDL lipoproteins and cholesterol esterification rate. *Physiol. Res. Acad. Sci. Bohemoslov.* 2005. Vol. 54 (2). P. 159–165.
19. Yakavets I. V., Yankovsky I. V., Barysau K. N., et al. Spectral techniques for photosensitizer redistribution in blood serum. *Applied problems of optics, informatics, radiophysics and condensed matter physics : materialy 3 mezdynar. konf.* (Minsk, 11–12 mai, 2017). Minsk, 2017. P. 154–156 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.05.2017
Received by editorial board 29.05.2017

УДК 577.345;615.033;615.45

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ β -ЦИКЛОДЕКСТРИНА НА БИОДОСТУПНОСТЬ И БИОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕТРАПИРРОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**И. В. ЯКОВЕЦ^{1),2),3)}, И. В. ЯНКОВСКИЙ¹⁾, К. Н. БОРИСОВ¹⁾, К. А. ЖУКОВ¹⁾,
М. В. БЕЛЕВЦЕВ⁴⁾, Л. Н. БОЛОТИНА^{2),3)}, В. П. ЗОРИН^{1),5)}**

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

²⁾Центр Исследований и Автоматизации Нанси,
CNRS UMR 7039 Национальный центр научных исследований, Университет Лотарингии, Кампус наук,
54500, г. Вандовр-Нанси, Франция

³⁾Институт канцерологии Лотарингии,
пр. Бургундии, 6, 54519, г. Вандовр-Нанси, Франция

⁴⁾Республиканский научно-практический центр детской онкологии, гематологии и иммунологии,
ул. Фрунзенская, 43, 223053, д. Боровляны Минской области, Республика Беларусь

⁵⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Соответствуя своим уникальным свойствам системы доставки лекарств на основе циклодекстринов, они являются весьма востребованными и перспективными для создания новых лекарственных форм препаратов. Ранее было установлено, что циклодекстрины обладают высоким сродством к арилзамещенным тетрапиррольным соединениям, которые в свою очередь являются эффективными сенсбилизаторами для фотодинамической терапии. Особый интерес для этого исследования представляет исследование влияния β -циклодекстринов (β -ЦД) на

Образец цитирования:

Яковец И. В., Янковский И. В., Борисов К. Н., Жуков К. А., Белевцев М. В., Болотина Л. Н., Зорин В. П. Влияние производных β -циклодекстрина на биодоступность и биораспределение тетрапиррольных соединений // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 81–90.

For citation:

Yakovets I. V., Yankovsky I. V., Barysau K. N., Jukov K. F., Belevtsev M. V., Bolotine L. N., Zorin V. P. Influence of β -cyclodextrin derivatives on the bioavailability and biodistribution of tetrapyrrole compounds. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 82–90 (in Russ.).

Авторы:

Илья Владимирович Яковец – младший научный сотрудник НИЛ биофизики и биотехнологии, аспирант кафедры биофизики. Научный руководитель – В. П. Зорин.

Игорь Вячеславович Янковский – доктор философии; ассистент кафедры общей физики.

Кирилл Николаевич Борисов – студент физического факультета. Научный руководитель – В. П. Зорин.

Константин Андреевич Жуков – студент физического факультета. Научный руководитель – В. П. Зорин.

Михаил Владимирович Белевцев – кандидат биологических наук, доцент; заместитель директора по научной работе.

Лина Николаевна Болотина – доктор философии, доктор медицины; руководитель исследовательского отдела.

Владимир Петрович Зорин – кандидат биологических наук, доцент; заведующий НИЛ биофизики и биотехнологии.

Authors:

Ilya V. Yakovets, junior researcher at the laboratory of biophysics and biotechnology, post-graduate student at the department of biophysics.

i.yakovets@gmail.com

Igor V. Yankovsky, doctor of science (philosophy); assistant of the department of common physics.

lubom@tut.by

Kiryl N. Barysau, student of the faculty of physics.

kirill_borisov98@mail.ru

Konstantin A. Jukov, student of the faculty of physics.

mr.kas1278@mail.ru

Mikhail Belevtsev, PhD (biology), associate professor; deputy director for scientific work.

belevtsev_m@mail.ru

Lina N. Bolotine, doctor of science (philosophy), doctor of science (medicine); head of research department.

l.bolotine@nancy.unicancer.fr

Vladimir P. Zorin, PhD (biology) associate professor; head of the laboratory of biophysics and biotechnology.

vpyzorin@mail.ru

биодоступность и биораспределение тетрапиррольного фотосенсибилизатора темпорфина (mTHPC) в различных биологических системах. Было показано, что образование комплексов включения между mTHPC и β -ЦД полностью устраняет стадию агрегации сенсibilизатора после введения в сыворотку крови. Кинетические и равновесные параметры распределения mTHPC между β -ЦД и белками сыворотки крови изучались с использованием эксклюзионной гель-хроматографии и специальной разработанной в нашей лаборатории флуоресцентной методики. Установлено, что β -ЦД увеличивают диффузионную подвижность молекул mTHPC между такими биологическими структурами, как белки сыворотки. Было продемонстрировано, что процессы распределения mTHPC в сыворотке крови и накопление в клетках крови сильно зависят от концентрации β -ЦД. Полученные результаты позволяют предположить значительное влияние молекул β -ЦД на процессы проникновения и распределения mTHPC в опухолевой ткани, а также свидетельствуют о возможности применения β -ЦД для снижения риска развития фотоаллергических реакций при проведении фотодинамической терапии с mTHPC.

Ключевые слова: темпорфин; фотосенсибилизатор; комплексы включения; циклодекстрины; биораспределение.

Благодарность. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) (проекты № M16M-049 и № M17MC-028), Института Канцерологии Лотарингии (Нанси, Франция) и Французской «Национальной лиги по борьбе с раком (CCIR-GE)». Авторы благодарят Biolitec Research GmbH (Йена, Германия) за предоставление mTHPC.

INFLUENCE OF β -CYCLODEXTRIN DERIVATIVES ON THE BIOAVAILABILITY AND BIODISTRIBUTION OF TETRAPYRROLE COMPOUNDS

I. V. YAKAVETS^{a, b, c}, I. V. YANKOVSKY^a, K. N. BARISAY^a, K. A. JUKOV^a,
M. V. BELEVTSSEV^d, L. N. BOLOTINE^{b, c}, V. P. ZORIN^{a, e}

^aBelarusian State University,

Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Belarus

^bResearch Centre for Automatic Control of Nancy,

University of Lotaringia, Science Campus, 54500, Vandoevr-Nancy, France

^cLorraine Institute of Oncology,

Burgundy avenue, 6, 54519, Vandoevr-Nancy, France

^dBelarusian Research Center for Pediatric Oncology, Hematology and Immunology,
Frunzenskaya Street, 43, der. Borovlyany, 223053, Minsk Region, Republic of Belarus

^eBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute

Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: i.yakavets@gmail.com

Due to their unique properties, drug delivery systems based on cyclodextrins are very popular and promising for the development of new drug formulations. Previously, it has been found that cyclodextrins have a high affinity to the aryl substituted tetrapyrrolic compounds which in turn are effective sensitizers for photodynamic therapy. Of special interest for this study is the investigation of β -cyclodextrins (β -CDs) effect on bioavailability and biodistribution of tetrapyrrolic photosensitizer temoporfin (mTHPC) in various biological systems. It was showed that association of mTHPC with the β -CDs completely abolishes its aggregation after introduction into blood serum. Kinetic and equilibrium distribution of mTHPC between β -CDs and serum were studied by means of special fluorescent technique. β -CDs increase diffusion movement of mTHPC molecules between biological structures such as serum proteins. It was demonstrated that the β -CDs have a concentration-dependent effect on the process of mTHPC distribution in blood serum and accumulation in blood cells. The results obtained suggest a significant effect of β -CD molecules on the penetration and distribution of mTHPC in tumor tissue, as well as indicate the possibility of using β -CD to reduce the risk of photoallergic reactions during photodynamic therapy with mTHPC.

Key words: temoporfin; photosensitizer; inclusion complexes; cyclodextrins; biodistribution.

Acknowledgements. This work was supported by Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (BRFFR) (projects number № M16M-049 and № M17MC-028), Institut de Cancérologie de Lorraine, French «Ligue Nationale contre le Cancer (CCIR-GE)». The authors thank biolitec research GmbH (Jena, Germany) for providing mTHPC.

Введение

Недостаточная растворимость в воде, низкая стабильность при хранении, неселективное распределение в организме и др. препятствуют эффективному применению многих лекарственных средств в клинической практике. На сегодняшний день используются различные пути повышения эффективности лекарственной терапии, среди которых наиболее эффективным способом является применение специальных систем доставки препаратов. Использование наноразмерных систем доставки (НРСД) лекарственных средств обеспечивает значительные преимущества по сравнению с традиционными способами введения, в том числе повышение растворимости, возможность использования векторных систем доставки препаратов, а также увеличение общей терапевтической эффективности применения лекарственных средств [1; 2]. Кроме того, во многих случаях применение НРСД позволяет снизить побочные эффекты химиотерапии, в том числе за счет снижения дозы и частоты введения препарата [2].

Благодаря своим исключительным свойствам, а также относительно низкой стоимости НРСД на основе циклодекстринов являются весьма востребованными и перспективными для создания новых лекарственных форм препаратов. Циклодекстрины (ЦД) являются циклическими олигосахаридами, состоящими из D-глюкопиранозных остатков. Семейство натуральных ЦД включает в себя три основных продукта: α -ЦД, β -ЦД и γ -ЦД, макрокольца которых состоят из шести, семи и восьми остатков глюкопиранозы соответственно. Уникальное строение – ЦД обладают формой усеченного конуса с относительно гидрофильной внешней поверхностью и гидрофобной внутренней полостью (рис. 1) – позволяет им образовывать нековалентные комплексы включения по типу «гость-хозяин» с множеством органических и неорганических соединений. Растет интерес к применению ЦД в качестве средства для улучшения физической и химической стабильности активных субстанций (защита от воздействия света, окисления и т. д.), для повышения местной переносимости лекарственных препаратов и в любых других случаях, когда образование комплекса включения помогает найти инновационное решение [3–5]. Кроме того, показано, что ЦД повышают растворимость лекарственных средств, увеличивают время циркуляции и повышают их биодоступность в организме [6]. Применение ЦД в фармацевтической промышленности постоянно расширяется. Медикаменты, содержащие ЦД, и их производные широко представлены на мировом фармацевтическом рынке в различных категориях (более 40 наименований), включая пероральные, парентеральные, местные и офтальмологические препараты [7].

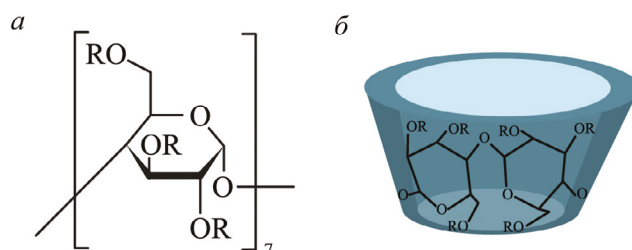


Рис. 1. Молекулярная (а) и стерическая (б) структура β -циклодекстрина

Fig. 1. Molecular (a) and steric (b) structures of β -cyclodextrin

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – одно из направлений медицины, где нанотехнологии находят широкое применение. ФДТ – малоинвазивный метод лечения ряда патологических заболеваний, в основе которого лежит комбинированное воздействие на патологические клетки и ткани света, молекулярного кислорода и особых веществ – фотосенсибилизаторов (ФС) [8]. Наиболее широко в клинической практике используются тетрапиррольные ФС. Показано, что наибольшим сродством к арилзамещенным тетрапиррольным ФС обладают производные β -ЦД [9]. Так, для темпорфина (mTHPC, коммерческая форма – Foscan®), одного из наиболее эффективных клинически одобренных ФС [10; 11], производные β -ЦД были предложены в качестве НРСД [12]. Было показано, что производные β -ЦД в значительной степени модифицируют процессы распределения mTHPC в организме животных опухоленосителей *in vivo* [12].

Цель данной работы – комплексное исследование механизмов влияния производных β -ЦД на процессы биораспределения mTHPC в крови. Рассмотрены процессы дезагрегации и перераспределения mTHPC в сыворотке крови в присутствии β -ЦД, а также влияние β -ЦД на процессы накопления mTHPC в лейкоцитах крови человека. Исследуемые в работе механизмы влияния ЦД на процессы распределения лекарственных соединений в крови представляют интерес с точки зрения возможности их

использования для снижения риска развития фотоаллергических реакций с участием экзогенных и эндогенных ФС.

Материалы и методы исследования

Реагенты. мТНРС, предоставленный компанией biolitec research GmbH (Германия), растворяли в 99,6 %-ном этиловом спирте до получения концентрации 1 мМ. В работе использовали эмбриональную сыворотку телят производства «SigmaAldrich», а также М-β-ЦД производства AraChem (Нидерланды). Содержание основного вещества составляло не менее 99 %.

Водные растворы готовили на основе фосфатно-солевого буфера (ФСБ) (8 г NaCl, 0,20 г KCl, 1,44 г Na₂HPO₄ и 0,24 г KН₂PO₄ на 1 л раствора; pH = 7,4). Стоковый раствор буфера при работе был разбавлен дистиллированной водой в соотношении 1:1.

Фотометрические и флуоресцентные измерения. Характеристики флуоресценции измерялись с использованием спектрофлуориметра Solar CM-2203 (SOLAR, Беларусь), оборудованном термостатируемой ячейкой с магнитной мешалкой. Измерение концентрации мТНРС проводили фотометрически на длине волны $\lambda=650$ нм (коэффициент экстинкции $\epsilon=30000$ М⁻¹ см⁻¹) [13]. Оптическая плотность всех образцов на длинах волн возбуждения и регистрации флуоресценции не превышала 0,15.

Спектрально-флуоресцентный метод определения доли ФС, связанного с ЦД. Для измерения количества ФС, связанного с молекулами М-β-ЦД в сыворотке крови, использовали спектральный метод, основанный на спектральных особенностях полосы Core мТНРС при связывании с биологическими структурами [14; 15]. В работе использовались следующие длины волн возбуждения флуоресценции: $\lambda_1 = 407$ нм и $\lambda_2 = 422$ нм. Регистрация флуоресценции проводилась на длине волны $\lambda = 652$ нм. Для количественного описания спектрально-флуоресцентных изменений полосы Core мТНРС использовалось отношение интенсивностей флуоресценции при возбуждении на $\lambda_1 = 407$ нм и $\lambda_2 = 422$ нм ($I_{\lambda_1}/I_{\lambda_2}$).

Клетки. В работе использовали мононуклеарные клетки периферической крови человека (доноров). Мононуклеарные клетки периферической крови выделяли центрифугированием образцов цельной крови в градиенте плотности Histopaque-1077 «Sigma» на протяжении 25 мин со скоростью 1500 об/с. Клеточную суспензию, образующую белое кольцо, собирали и помещали в ФСБ. После этого клетки отмывали в буфере дважды, лизировали оставшиеся эритроциты и переводили в среду инкубирования.

Исследование процессов накопления ФС в клетках. К суспензии клеток (концентрация 10⁶ кл/мл) добавляли ФС в концентрации 10 мкМ с различными концентрациями М-β-ЦД. ФС, находящийся в органическом растворителе, предварительно инкубировался с сывороткой крови в течение 3 и более часов для полной мономеризации пигмента. Накопление ФС в клетках анализировалось на проточном цитометре FC 500 (Beckman Coulter, США), оснащенный аргоновым лазером с длиной волны излучения 488 нм (20 мВ). Регистрировали распределение клеток по интенсивности флуоресценции в полосе испускания мТНРС. Обработку полученных данных проводили с использованием статистического пакета цитометра CXР для FC 500. Регионы клеток определяли по параметрам бокового и прямого светорассеивания.

Результаты исследования и их обсуждение

Дезагрегация ФС. Рассматривая общую схему проведения ФДТ при внутривенном введении ФС, в первую очередь мы сталкиваемся с процессами транспорта ФС в васкулярной системе. На стадии введения в организм гидрофобные молекулы мТНРС образуют крупные агрегаты, затрудняющие транспорт ФС в кровотоке [16]. Агрегаты мТНРС не флуоресцируют, что затрудняет детекцию ФС на всех стадиях его фармакокинетики в организме. Об образовании агрегатов говорят изменения в спектрах поглощения и данные резонансного светорассеяния, полученные в работах [17], а также в нашей лаборатории [18]. Полученные результаты указывают на то, что агрегация проходит по пути образования J-агрегатов. Процессы агрегации мТНРС проявляются *in vivo*, когда агрегаты застревают в мелких кровеносных сосудах, а затем разрушаются со временем, что сопровождается вторичными пиками флуоресценции человеческой и кроличьей плазмы примерно через 10 и 6 ч после введения ФС соответственно [19; 20]. Хорошо известно, что взаимодействие с сывороточными белками и форменными элементами крови приводит к медленной дезагрегации мТНРС. Показано, что полная дезагрегация мТНРС в присутствии сыворотки наблюдается спустя несколько часов [18].

В тоже время формирование комплексов включения предотвращает агрегацию ФС и приводит к быстрой мономеризации ФС в водных растворах, в том числе в крови. Об этом свидетельствуют данные, представленные на рис. 2. При комнатной температуре процесс полной дезагрегации пигмента в 2 % растворе сыворотки крови протекает в течение суток. Добавление М-β-ЦД существенно сказывается на скорости и характере процесса дезагрегации пигмента. Значительное ускорение мономеризации

молекул mTHPC в присутствии белков сыворотки регистрируется уже при концентрациях M-β-ЦД от 3 мкМ, в то время как добавление M-β-ЦД в концентрациях более 100 мкМ в раствор приводит к полной дезагрегации mTHPC всего за 20–30 мин. Введение mTHPC в составе комплексов с M-β-ЦД в свою очередь полностью устраняет стадию агрегацию ФС в сыворотке крови (данные не представлены).

Влияние M-β-ЦД на процессы распределения mTHPC в сыворотке крови. Взаимодействие mTHPC с белками плазмы и липопротеинами оказывает значительное влияние на фармакокинетику препарата [18; 21]. Предполагается, что природа белка-«переносчика» влияет на процессы локализации сенсibilизатора в опухоли. Так, перенос молекул ФС в комплексах с сывороточным альбумином приводит к повреждению при фотодинамическом воздействии васкулярной системы и стромы опухоли. А транспорт в составе липопротеинов способствует доставке сенсibilизатора в опухолевые клетки [22]. В работе [21] был установлен ряд особенностей в связывании mTHPC с белками сыворотки крови и показано, что основная часть mTHPC связывается с липопротеинами высокой плотности (60 %), 35 % – с липопротеинами низкой плотности и лишь 5 % с другими белками плазмы, включая сывороточный альбумин человека.

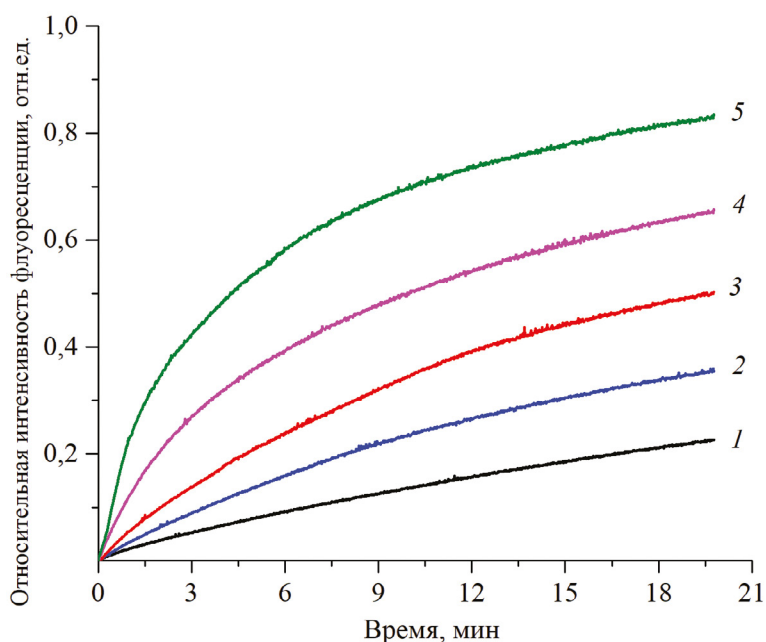


Рис. 2. Кинетики изменения интенсивности флуоресценции 0,5 мкМ mTHPC в водном растворе сыворотки (2 %) в зависимости от концентрации M-β-ЦД: 1 – 0; 2 – 3; 3 – 10; 4 – 30; 5 – 100 мкМ

Fig. 2. Kinetics of mTHPC (0.5 μM) fluorescence intensity in aqueous solution of 2 % serum depending on M-β-CD concentration: 1 – 0; 2 – 3; 3 – 10; 4 – 30; 5 – 100 μM

Динамический характер образования комплекса включения между mTHPC и ЦД предполагает возможность диссоциации супрамолекулярного комплекса с последующим связыванием молекулы ФС с другими биоструктурами (например, белками сыворотки). К тому же, согласно литературным данным, комплексы mTHPC с производными β-ЦД в качестве наноносителей для mTHPC должно оказывать значительное влияние на процессы распределения ФС в крови, в том числе между транспортными белками плазмы [3].

Процессы распределения mTHPC в растворе сыворотки во многом определяются процессами его равновесного связывания с белками и β-ЦД. Было показано, что введение комплексов mTHPC/β-ЦД в сыворотку крови сопровождается процессами перераспределения ФС на белки плазмы крови [4; 15]. Процессы перераспределения mTHPC между комплексами включения и белками сыворотки были исследованы с использованием разработанных спектрально-флуоресцентных методов, основанных на изменении спектральных полос в спектрах возбуждения флуоресценции mTHPC. При связывании с белками сыворотки и при комплексообразовании с β-ЦД наблюдается обратный эффект. Для количественного описания данной спектральной особенности было предложено использовать отношения интенсивностей флуоресценции mTHPC при возбуждении в различных участках полосы Core $I_{\lambda_1} \setminus I_{\lambda_2}$. В случае перераспределения mTHPC между M-β-ЦД и белками сыворотки крови использовался возбуждающий свет с длинами волн $\lambda_1 = 407$ нм и $\lambda_2 = 422$ нм.

На рис. 3 приведена кривая, описывающая равновесное распределение молекул тГНРС между белками сыворотки крови и М-β-ЦД. Изменение концентрации ЦД в сыворотке крови сопровождается смещением равновесия в процессах образования комплексов включения, что обуславливает перераспределение ФС между комплексами включения и белками сыворотки, о чем свидетельствует уменьшение параметра I_{407}/I_{422} . При этом полному связыванию тГНРС с белковыми структурами соответствует значение параметра $I_{407}/I_{422} = 0,41$. При добавлении малых концентраций М-β-ЦД (до 1 мкМ) изменений равновесного распределения тГНРС между белков сыворотки не наблюдаются. Дальнейшее увеличение концентрации М-β-ЦД приводит к увеличению величины I_{407}/I_{422} , что подтверждает перераспределение тГНРС с белков сыворотки и появлению фракции молекул ФС в комплексах включения с М-β-ЦД. Относительный вес фракции молекул тГНРС, связанных с М-β-ЦД, зависит от концентрации М-β-ЦД и концентрации белков сыворотки. Так, присутствие в растворе более 100 мкМ М-β-ЦД не приводит к увеличению отношения I_{407}/I_{422} , которое достигает максимального значения равного 0,62. Это свидетельствует о полном связывании тГНРС с М-β-ЦД. Следует отметить, что увеличение концентрации сыворотки в 5 раз (от 1 % до 5 %) приводит к ускорению процесса перераспределения и смещению равновесного распределения тГНРС в сторону белков сыворотки. Кроме того, согласно данным хроматографического анализа, присутствие М-β-ЦД не оказывает влияния на распределение тГНРС между основными транспортными сывороточными белками (данные не приведены).

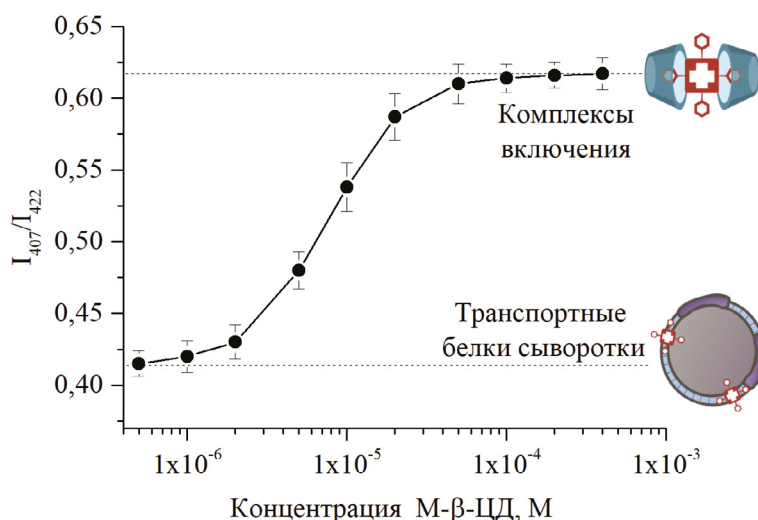


Рис. 3. Зависимость степени поляризации (P) 0,5 мкМ тГНРС в 2 % растворе сыворотки крови от концентрации М-β-ЦД

Fig. 3. Dependence of fluorescence polarization degree (P) of 0,5 μM тГНРС in aqueous solution of blood serum (2 %) on М-β-CD concentration

Ускорение процессов перераспределения тГНРС между белками сыворотки. Как известно, для тГНРС характерна крайне низкая диффузионная подвижность между биологическими структурами и, в частности, белками сыворотки [18]. Так, для перераспределения тГНРС между липопротеинами сыворотки крови требуется от 4 до 6 часов. Столь низкая скорость переноса молекул тГНРС в свою очередь может обуславливать длительность процесса распределения ФС в клеточных и тканевых структурах. В ходе исследования влияния малых концентраций М-β-ЦД на процессы распределения тГНРС в сыворотке крови было обнаружено, что добавление М-β-ЦД в концентрациях, не достаточных для изменения равновесного распределения в сыворотке (2 мкМ), значительно ускоряет процесс перераспределения [4]. Предполагается, что молекулы ЦД выступают в роли «наночелноков» для молекул ФС, облегчая тем самым их перераспределение между биологическими структурами, в том числе между транспортными белками и клеточными мембранами. Молекулы М-β-ЦД облегчают выход ФС из состава комплекса с сывороточными белками и при диссоциации комплекса включения тГНРС/М-β-ЦД молекула ФС последовательно связывается с ближайшей биологической структурой (транспортные белки сыворотки, клеточная мембрана). Таким образом, предполагается, что М-β-ЦД могут оказывать влияние не только на распределение тГНРС между транспортными белками сыворотки крови, но и на процессы его взаимодействия с клеточными и тканевыми структурами.

Влияние М-β-ЦД на взаимодействие тГНРС с клетками крови. Молекулы тГНРС обладают высоким сродством к клеткам и клеточным структурам, однако скорость его накопления невысока. Это обусловлено процессами агрегации пигмента в водных растворах, как уже было отмечено, невысокой скоростью

перераспределения mТНРС с сывороточных белков, с которыми связывается ФС, на клетки. Добавление М-β-ЦД при инкубировании ФС с клетками, как оказалось, может приводить как к ускорению, так и к снижению накопления mТНРС в клетках в зависимости от используемой концентрации М-β-ЦД. На рис. 4, приведены данные исследования накопления mТНРС в лейкоцитах крови человека в зависимости от концентрации М-β-ЦД. Присутствие концентраций М-β-ЦД до 10 мкМ приводит к ускорению процесса накопления mТНРС в лейкоцитах почти в 2 раза. Однако дальнейшее увеличение концентрации М-β-ЦД ведет к снижению накопления ФС в клетках по сравнению с максимальной, вплоть до 80 %. Отмеченные эффекты альтерации распределения mТНРС в присутствии М-β-ЦД воспроизводились как для клеток периферической крови человека (лимфоциты, моноциты и нейтрофилы), так и для культуральных опухолевых клеток [4]. Следовательно, в клетках крови имеют прямую корреляцию с процессами накопления ФС в клетках эндотелия сосудов и опухолевых клетках [23].

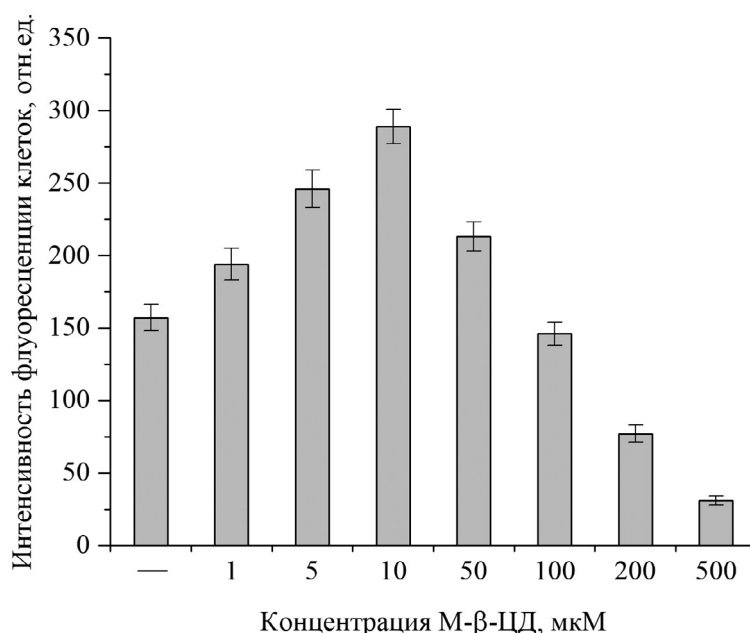


Рис. 4. Влияние М-β-ЦД на скорость накопления mТНРС (10 мкМ) в лимфоцитах крови человека

Fig. 4. Influence of M-β-CD on cellular uptake of 10 μM mТНРС in human blood lymphocytes

Основные механизмы альтерации ЦД процессов распределения ФС. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что М-β-ЦД способен изменять процессы распределения фотосенсибилизатора mТНРС в растворе сыворотки крови. Можно выделить несколько основных механизмов влияния молекул ЦД на процессы распределения mТНРС в крови (рис. 5):

- полная дезагрегация молекул mТНРС в крови;
- ускорение процессов перераспределения ФС между транспортными белками при использовании низких концентраций ЦД;
- снижение «эффективной» концентрации ФС в крови за счет применения высоких концентраций ЦД, способствующих «изоляции» молекул ФС в комплексах включения.

В случае дезагрегации, молекулы ЦД, взаимодействуя с mТНРС, предотвращают агрегацию его молекул и способствуют связыванию ФС с транспортными белками сыворотки крови (рис. 5а). В свою очередь, полная мономеризация ФС способствует увеличению эффективности его транспортировки в клетки и общей фотодинамической активности. Высокие константы ассоциации β-ЦД с mТНРС также позволяют осуществлять ускорение процессов перераспределения между транспортными белками сыворотки крови и другими биологическими структурами (например, клеточными мембранами). В этом случае (рис. 5б), даже небольшие количества β-ЦД способствуют выходу ФС из состава липопротеинов и образованию комплексов включения, которые при диссоциации позволяют молекуле ФС перераспределиться на другие биологические структуры. Данный механизм является основным фактором наблюдаемого ускорения накопления ФС в форменных элементах крови и опухолевых клетках. Использование относительно высоких концентраций ЦД (более 100 мкМ) может привести к «изоляции» молекул ФС в комплексах включения (рис. 5в). В данном случае, после диссоциации комплекса, молекула ФС не успевает связаться с транспортными белками сыворотки или с клеточной мембраной клетки

и образует комплекс включения с β -ЦД. Это может приводить к значительному снижению накопления ФС в клетках, так как предполагается, что β -ЦД и комплексы включения не проникают в клетки [5].

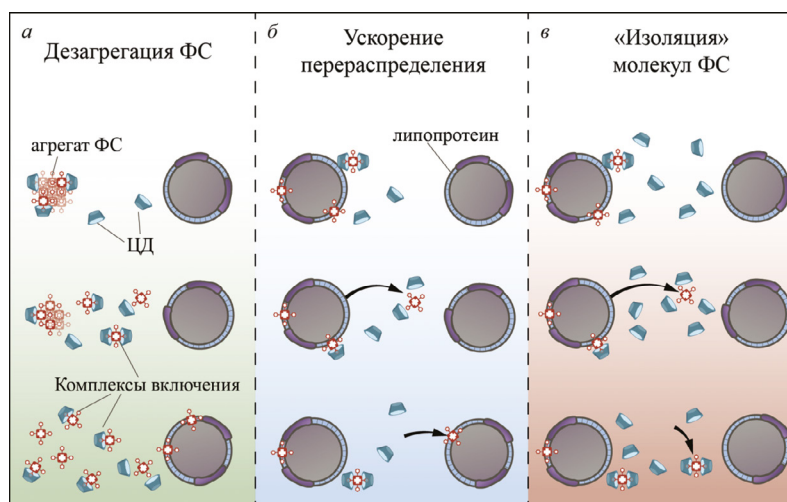


Рис. 5. Схема основных механизмов влияния М- β -ЦД на процессы распределения молекул мТНРС в сыворотке крови: а – дезагрегация молекул ФС, б – ускорение перераспределения ФС между транспортными белками сыворотки крови, в – снижение «эффективной» концентрации ФС при образовании значительной фракции комплексов включения

Fig. 5. Scheme of main mechanisms of M- β -CD influence on mTHPS distribution processes in blood serum: а – desaggregation of photosensitizer molecules, б – acceleration of photosensitizer redistribution between blood serum transport proteins, в – reduction of «effective» photosensitizer concentration upon formation of significant fraction of inclusion complexes

Таким образом, β -ЦД могут быть использованы для альтерации агрегационного состояния и процессов биораспределения фотосенсибилизатора в крови. Основными детерминантами эффективности использования β -ЦД являются их концентрация, а также концентрация сыворотки. Кроме того, варьирование параметрами комплексообразования (константами связывания) β -ЦД с мТНРС возможна более тонкая альтерация процессов распределения мТНРС как в клеточных, так и в тканевых структурах. Предполагается, что использование β -ЦД может также способствовать увеличению проникающей способности мТНРС в опухолевую ткань, а также более эффективному внутритканевому распределению препарата в присутствии β -ЦД.

Заключение

Были рассмотрены основные механизмы влияния М- β -ЦД на процессы распределения мТНРС в крови. Показано, что использование М- β -ЦД полностью предотвращает агрегацию мТНРС и увеличивает его биодоступность. Было изучено влияние М- β -ЦД на кинетические и равновесные процессы распределения мТНРС в сыворотке крови. Процессы перераспределения мТНРС определяются механизмами конкурентного связывания и носят обратимый характер. Увеличение концентрации М- β -ЦД ведет к смещению равновесия в сторону комплексов включения и появлению в сыворотке крови фракции молекул ФС, связанных с М- β -ЦД. Показано, что применение М- β -ЦД позволяет в 2 раза увеличить накопление в лимфоцитах крови человека за счет ускорения М- β -ЦД процессов перераспределения ФС между транспортными белками сыворотки крови, а также благодаря полной мономеризации ФС. Однако было продемонстрировано, что присутствие относительно высоких концентраций М- β -ЦД может приводить к значительному снижению накопления ФС в клетках из-за появления фракции ФС, связанного с М- β -ЦД, и, соответственно, к снижению «эффективной» концентрации ФС в растворе. Полученные результаты позволяют предположить значительное влияние молекул β -ЦД на процессы проникновения и распределения мТНРС в опухолевой ткани. Рассмотренные механизмы влияния β -ЦД на процессы распределения ФС в крови свидетельствуют о возможности применения β -ЦД для снижения риска развития фотоаллергических реакций в случае применения природных и синтетических ФС при ФДТ.

Библиографические ссылки

1. Marchal S., El Hor A., Millard M., et al. Anticancer Drug Delivery: An Update on Clinically Applied Nanotherapeutics // *Drugs*. 2015. Vol. 75, № 14. P. 1601–1611.
2. Lee J. H., Yeo Y. Controlled drug release from pharmaceutical nanocarriers // *Chem. Eng. Sci.* 2015. Vol. 125. P. 75–84.
3. Stella V. J., He Q. Cyclodextrins // *Toxicol. Pathol.* 2008. Vol. 36, № 1. P. 30–42.
4. Yankovsky I., Bastien E., Yakavets I., et al. Inclusion complexation with β -cyclodextrin derivatives alters photodynamic activity and biodistribution of meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin // *Eur. J. Pharm. Sci. Off. J. Eur. Fed. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 91. P. 172–182.
5. Loftsson T., Brewster M. E. Drug Solubilization and Stabilization by Cyclodextrin Drug Carriers // *Drug Deliv. Strat. for Poorly Water-Sol. Drugs* / ed. Douroumis D., Fahr A. John Wiley & Sons Ltd. 2013. P. 67–101.
6. Acartürk F., Çelebi N. Cyclodextrins as Bioavailability Enhancers // *Cyclodextrins in Pharmaceutics, Cosmetics and Biomedicine* / ed. Bilensoy E. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2011. P. 45–64.
7. Gidwani B., Vyas A. A Comprehensive Review on Cyclodextrin-Based Carriers for Delivery of Chemotherapeutic Cytotoxic Anticancer Drugs // *BioMed Res. Int.* 2015. Vol. 2015. P. 198–268.
8. Allison R. R., Sibata C. H. Oncologic photodynamic therapy photosensitizers: a clinical review // *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 2010. Vol. 7, № 2. P. 61–75.
9. Kryjewski M., Goslinski T., Mielcarek J. Functionality stored in the structures of cyclodextrin-porphyrinoid systems // *Coord. Chem. Rev.* 2015. Vol. 300. P. 101–120.
10. Demore D., Kasselouri A., Bourdon O., et al. Enhancement of 5,10,15,20-Tetra(m-Hydroxyphenyl)chlorin Fluorescence Emission by Inclusion in Natural and Modified Cyclodextrins // *Appl. Spectrosc.* 1999. Vol. 53, № 5. P. 523–527.
11. Bautista-Sanchez A., Kasselouri A., Descroches M. C., et al. Photophysical properties of glucoconjugated chlorins and porphyrins and their associations with cyclodextrins // *J. Photochem. Photobiol. B.* 2005. Vol. 81, № 3. P. 154–162.
12. Senge M. O. mTHPC – A drug on its way from second to third generation photosensitizer? // *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 2012. Vol. 9, № 2. P. 170–179.
13. Bonnett R., Charlesworth P., Djelaj B. D. et al. Photophysical properties of 5,10,15,20-tetrakis (m-hydroxyphenyl) porphyrin (m-THPP), 5,10,15,20-tetrakis (m-hydroxyphenyl) chlorin (m-THPC) and 5,10,15,20-tetrakis (m-hydroxyphenyl) bacteriochlorin (m-THPBC): a comparative study // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2.* 1999. № 2. P. 325–328.
14. Яковец И. В., Янковский И. В., Болотина Л. Н., и др. Особенности спектральных характеристик мета-тетра(гидроксифенил) хлорина в биологических системах // *Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика.* 2015. № 2. С. 39–45.
15. Yakavets I., Yankovsky I., Bezdetnaya L., et al. Soret band shape indicates mTHPC distribution between β -cyclodextrins and serum proteins // *Dyes Pigments.* 2017. Vol. 137. P. 299–306.
16. Rezzoug H., Bezdetnaya L., A'amar O., et al. Parameters Affecting Photodynamic Activity of Foscan® or Meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin (mTHPC) In Vitro and In Vivo // *Lasers Med. Sci.* 1998. Vol. 13, № 2. P. 119–125.
17. Tikhomirov A. M., Shmigol' T. A., Kozhinova E. A., et al. Investigation of aggregates of dyes by the method of resonance light scattering: correction of spectra // *Biofizika.* 2009. Vol. 54, № 5. P. 824–830.
18. Sasnouski S., Kachatkou D., Zorin V., et al. Redistribution of Foscan from plasma proteins to model membranes // *Photochem. Photobiol. Sci. Off. J. Eur. Photochem. Assoc. Eur. Soc. Photobiol.* 2006. Vol. 5, № 8. P. 770–777.
19. Jones H. J., Vernon D. I., Brown S. B. Photodynamic therapy effect of m-THPC (Foscan®) in vivo: correlation with pharmacokinetics // *Br. J. Cancer.* 2003. Vol. 89, № 2. P. 398–404.
20. Glanzmann T., Hadjur C., Zellweger M., et al. Pharmacokinetics of tetra(m-hydroxyphenyl)chlorin in human plasma and individualized light dosimetry in photodynamic therapy // *Photochem. Photobiol.* 1998. Vol. 67, № 5. P. 596–602.
21. Sasnouski S., Zorin V., Khluduyev I. et al. Investigation of Foscan interactions with plasma proteins // *Biochim. Biophys. Acta.* 2005. Vol. 1725, № 3. P. 394–402.
22. Jori G., Reddi E. The role of lipoproteins in the delivery of tumour-targeting photosensitizers // *Int. J. Biochem.* 1993. Vol. 25, № 10. P. 1369–1375.
23. Maugain E., Sasnouski S., Zorin V., et al. Foscan-based photodynamic treatment in vivo: correlation between efficacy and Foscan accumulation in tumor, plasma and leukocytes // *Oncol. Rep.* 2004. Vol. 12, № 3. P. 639–645.

References

1. Marchal S., El Hor A., Millard M., et al. Anticancer Drug Delivery: An Update on Clinically Applied Nanotherapeutics. *Drugs*. 2015. Vol. 75, No. 14. P. 1601–1611.
2. Lee J. H., Yeo Y. Controlled drug release from pharmaceutical nanocarriers. *Chem. Eng. Sci.* 2015. Vol. 125. P. 75–84.
3. Stella V. J., He Q. Cyclodextrins. *Toxicol. Pathol.* 2008. Vol. 36, No. 1. P. 30–42.
4. Yankovsky I., Bastien E., Yakavets I., et al. Inclusion complexation with β -cyclodextrin derivatives alters photodynamic activity and biodistribution of meta-tetra (hydroxyphenyl) chlorin. *Eur. J. Pharm. Sci. Off. J. Eur. Fed. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 91. P. 172–182.
5. Loftsson T., Brewster M. E. Drug Solubilization and Stabilization by Cyclodextrin Drug Carriers. *Drug Deliv. Strat. for Poorly Water-Sol. Drugs* / ed. Douroumis D., Fahr A. John Wiley & Sons Ltd. 2013. P. 67–101.
6. Acartürk F., Çelebi N. Cyclodextrins as Bioavailability Enhancers. *Cyclodextrins in Pharmaceutics, Cosmetics and Biomedicine* / ed. Bilensoy E. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc. 2011. P. 45–64.
7. Gidwani B., Vyas A. A Comprehensive Review on Cyclodextrin-Based Carriers for Delivery of Chemotherapeutic Cytotoxic Anticancer Drugs. *BioMed Res. Int.* 2015. Vol. 2015. P. 198–268.
8. Allison R. R., Sibata C. H. Oncologic photodynamic therapy photosensitizers: a clinical review. *Photodiagn. Photodyn. Ther.* 2010. Vol. 7, No. 2. P. 61–75.
9. Kryjewski M., Goslinski T., Mielcarek J. Functionality stored in the structures of cyclodextrin-porphyrinoid systems. *Coord. Chem. Rev.* 2015. Vol. 300. P. 101–120.
10. Demore D., Kasselouri A., Bourdon O., et al. Enhancement of 5,10,15,20-Tetra(m-Hydroxyphenyl)chlorin Fluorescence Emission by Inclusion in Natural and Modified Cyclodextrins. *Appl. Spectrosc.* 1999. Vol. 53, No. 5. P. 523–527.

11. Bautista-Sanchez A., Kasselouri A., Descroches M.C., et al. Photophysical properties of glucoconjugated chlorins and porphyrins and their associations with cyclodextrins. *J. Photochem. Photobiol. B*. 2005. Vol. 81, № 3. P. 154–162.
12. Senge M.O. mTHPC – A drug on its way from second to third generation photosensitizer? *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 2012. Vol. 9, No. 2. P. 170–179.
13. Bonnett R., Charlesworth P., Djelai B.D., et al. Photophysical properties of 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)porphyrin (m-THPP), 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)chlorin (m-THPC) and 5,10,15,20-tetrakis(m-hydroxyphenyl)bacteriochlorin (m-THPBC): a comparative study. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2*. 1999. № 2. P. 325–328.
14. Yakovec, I. V., Yankovsky I. V., Bolotina L. N., et al. Spectral characteristics of meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin in biological systems. *Vestn. BSU. Seriya 1, Physics. Mathematics. Information Sci.* 2015. No 2. P. 39–45 (in Russ.).
15. Yakavets I., Yankovsky I., Bezdetnaya L., et al. Soret band shape indicates mTHPC distribution between β -cyclodextrins and serum proteins. *Dyes Pigments*. 2017. Vol. 137. P. 299–306.
16. Rezzoug H., Bezdetnaya L., A'amar O., et al. Parameters Affecting Photodynamic Activity of Foscan® or Meta-tetra(hydroxyphenyl)chlorin (mTHPC) In Vitro and In Vivo. *Lasers Med. Sci.* 1998. Vol. 13, No. 2. P. 119–125.
17. Tikhomirov A. M., Shmigol' T. A., Kozhinova E. A., et al. Investigation of aggregates of dyes by the method of resonance light scattering: correction of spectra. *Biofizika*. 2009. Vol. 54, No. 5. P. 824–830.
18. Sasnouski S., Kachatkou D., Zorin V. et al. Redistribution of Foscan from plasma proteins to model membranes. *Photochem. Photobiol. Sci. Off. J. Eur. Photochem. Assoc. Eur. Soc. Photobiol.* 2006. Vol. 5, No. 8. P. 770–777.
19. Jones H. J., Vernon D. I., Brown S. B. Photodynamic therapy effect of m-THPC (Foscan®) in vivo: correlation with pharmacokinetics. *Br. J. Cancer*. 2003. Vol. 89, No. 2. P. 398–404.
20. Glanzmann T., Hadjir C., Zellweger M., et al. Pharmacokinetics of tetra(m-hydroxyphenyl)chlorin in human plasma and individualized light dosimetry in photodynamic therapy. *Photochem. Photobiol.* 1998. Vol. 67, No. 5. P. 596–602.
21. Sasnouski S., Zorin V., Khludayev I., et al. Investigation of Foscan interactions with plasma proteins. *Biochim. Biophys. Acta*. 2005. Vol. 1725, No. 3. P. 394–402.
22. Jori G., Reddi E. The role of lipoproteins in the delivery of tumour-targeting photosensitizers. *Int. J. Biochem.* 1993. Vol. 25, No. 10. P. 1369–1375.
23. Maugain E., Sasnouski S., Zorin V., et al. Foscan-based photodynamic treatment in vivo: correlation between efficacy and Foscan accumulation in tumor, plasma and leukocytes. *Oncol. Rep.* 2004. Vol. 12, No. 3. P. 639–645.

Статья поступила в редколлегию 29.05.2017
Received by editorial board 29.05.2017

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 57:331

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ИВЫ БЕЛОЙ (*SALIX ALBA*)

А. А. БУТЬКО¹⁾, В. А. ПАШИНСКИЙ¹⁾, О. И. РОДЬКИН²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь
²⁾Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 67, 220013, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты технико-экономической оценки производства щепы при адаптивном возделывании древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста – клона *Волмянка* ивы белой (*Salix alba*).

Полная себестоимость производства щепы составляет 6,57–7,64 бел. руб/нас. м³. При планируемой рентабельности 0 % простой срок окупаемости требуемых инвестиций составит 12–15 лет, отпускная цена производителя составит 7,89–9,17 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль 105,0–108,3 бел. руб/га, внутренняя норма доходности 23,5–24,0 %, рентабельность инвестиций 796,9–822,2 %. С учетом вариации планируемой рентабельности от 9,1 до 115,1 % простой срок окупаемости требуемых инвестиций варьирует от 3 до 9 лет, отпускная цена

Образец цитирования:

Буцько А. А., Пашинский В. А., Родькин О. И. Техничко-экономічныя аспекты вытворства шчэпы пры возделыванні івы белаў (*Salix alba*) // Журн. Беларус. гос. ун-та. Экалогія. 2017. № 1. С. 91–100.

For citation:

Butsko A. A., Pashynski V. A., Rodzkin A. I. Technical and economic aspects of the production of chips during the cultivation of willow white (*Salix alba*). *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 92–100 (in Russ.).

Авторы:

Андрей Анатольевич Буцько – старший преподаватель кафедры энергоэффективных технологий.

Василий Антонович Пашинский – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой энергоэффективных технологий.

Олег Иванович Родькин – кандидат биологических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии.

Authors:

Andrei A. Butsko, senior lecturer of the chair of energy efficient technologies.

butko_andrei@mail.ru

Vasil A. Pashynski, PhD (engineering), associate professor; head of the chair of energy efficient technologies.

pashynski@mail.ru

Aleh I. Rodzkin, PhD (biological), associate professor; head of the chair of ecology.

aleh.rodzkin@rambler.ru

производителя составит 8,48–17,97 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль 157,99–709,1 бел. руб/га, внутренняя норма доходности 30,6–82,0 %, рентабельность инвестиций 1196,3–5383,3 %.

При ставке дисконтирования 17–21 % чистая приведенная стоимость капиталовложений варьирует от 286 до 509 бел. руб/га, которая соответствует варианту (доходы +10 %; расходы –10 %). Для варианта (доходы +5 %; расходы –5 %) чистая приведенная стоимость варьирует от 78 до 242 бел. руб/га. При базовом варианте, а также вариантах (доходы –5 %; расходы +5 %) и (доходы –10 %; расходы +10 %) чистая приведенная стоимость капиталовложений принимает отрицательные значения.

Ключевые слова: быстрорастущие древесно-кустарниковые породы; ива *Salix alba*; клон *Волмянка*; технологическая карта; структура затрат; производственная себестоимость; рентабельность инвестиций; среднегодовая чистая прибыль; внутренняя норма доходности; чистая приведенная стоимость; срок окупаемости.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE PRODUCTION OF CHIPS DURING THE CULTIVATION OF WILLOW WHITE (*SALIX ALBA*)

A. BUTSKO^a, V. PASHYNSKI^a, A. RODZKIN^b

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

^bBelarusian National Technical University,
Nezavisimosti avenue, 67, 220013, Minsk, Belarus

Corresponding author: pashynski@mail.ru

The article presents the results of the technical and economic assessment of the production of woodchips in the adaptive cultivation of tree and shrub species with a short growth period – the Clone Wolmianka willow white (*Salix alba*).

The total cost of production of wood chips is 6,57–7,64 Belarusian rubles / us.m³. With a planned profitability of 0 %, the simple payback period of the required investments will be 12–15 years, the manufacturer's selling price will be 7,89–9,17 Belarusian rubles / us. m³, the average annual net profit of 105,0–108,3 BYR / ha, Internal rate of return 23,5–24,0 %, return on investment 796,9–822,2 %. Taking into account the variation of the planned profitability from 9,1 to 115,1 %, the simple payback period of the required investments varies from 3 to 9 years, the manufacturer's selling price will be 8,48–17,97 Belarusian rubles / us. m³, the average annual net profit 157,99–709,1 bel. rub./ha, the internal rate of return is 30,6–82,0 %, the return on investment is 1196,3–5383,3 %.

With a discount rate of 17–21 %, the net present value of capital investment varies from 286 to 509 Belarusian rubles / ha, which corresponds to the option (revenues +10 %, costs –10 %). For the option (incomes +5 %, costs –5 %), the net present value varies from 78 to 242 BYR / ha. In the basic version, as well as variants (incomes –5 %, expenses +5 %) and (income –10 %, expenses +10 %), the net present value of capital investments assumes negative values.

Key words: Fast-growing tree and shrub species; willow; *Salix alba*; clone *Volmyanka*; technological map; cost structure; production cost; return on investment; average annual net profit; internal rate of return; net present value; payback period.

Введение

В Беларуси в настоящее время, как и во всем мире, использование сельскохозяйственных угодий для производства биомассы на энергетические цели имеет неуклонную тенденцию к росту, о чем свидетельствует существенное расширение площадей как на европейском, так и национальном уровнях [1].

Так, согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 28 марта 2016 г. № 248 об утверждении Государственной программы «Энергосбережение» на 2016–2020 гг., в республике среди местных ТЭР основной упор сделан на расширение использования древесного топлива [2]. Одним из направлений использования древесного топлива является производство и использование быстрорастущей древесины. Кроме того, быстрорастущие древесно-кустарниковые посадки могут быть востребованы при фиторемедиации почв, защиты почв от водной и ветровой эрозии, утилизация биогенных элементов, при сохранении биологического разнообразия и др.

В странах Европейского союза (ЕС) плантации быстрорастущих древесно-кустарниковых пород занимают около 70 тыс. га, среди которых ведущее место принадлежит Швеции (~ 15 тыс. га), Дании, Польше, Венгрии, Италии (~ 7 тыс. га на каждую страну) и Германии (~ 6 тыс. га). Так, только в Германии ожидается, что при реализации программы OPTFUEL к 2020 г. суммарная площадь плантаций возрастет до 450 тыс. га [3], в Великобритании до 350 тыс. га, а Швеции до 30 тыс. га. Вместе с тем время наблюдается увеличение площадей в Хорватии, Литве, Латвии, Франции, Чехии, Греции и Македонии [4].

Для эффективного возделывания плантаций древесно-кустарниковых пород с коротким периодом роста в условиях Беларуси необходимо решение целого ряда задач экономической и экологической направленности.

Материалы и методы исследования

Полевые эксперименты выполнены на заложенных плантациях Могилевской, Минской, Гродненской и Брестской областей.

Сбор данных проводился в соответствии со стандартными общепринятыми методиками. Статистическая обработка результатов исследования выполнена с помощью статистического пакета STATISTICA v.10.

По действующим организационно-технологическим нормативам по планированию работ в сельскохозяйственном производстве и собственных исследований разработаны технологические карты возделывания, в основе которых лежит базовая технологическая карта [5–8].

Базовая технологическая карта состоит из V технологических этапов: I. Основная обработка почвы, внесение гербицидов сплошного действия, внесение минеральных удобрений. II. Предпосадочная обработка, посадка, внесение минеральных удобрений. III. Уход за посадкой. IV. Уборка древесины. V. Ликвидация плантации, включающая ряд технологических операций [9]. Она базируется на следующих звеньях системы земледелия:

1. Требования к почвам. Для возделывания ивы белой наиболее пригодны дерново-подзолистые, дерново-глебоватые, суглинистые, супесчаные, подстилаемые моренным суглинком, а также деградированные низинные торфяники с устойчивой по годам в течение вегетационного периода влагообеспеченностью. Непригодными для возделывания являются песчаные почвы с низкой и неустойчивой влагообеспеченностью, а также тяжелые глинистые почвы. Оптимальные значения pH почвы в диапазоне 5,5–7,5. Почвы с кислотностью pH ниже 5,5 необходимо предварительно известковать. Обеспеченность гумусом – не менее 1,4 %. По содержанию подвижных элементов фосфора и калия допускается использовать почвы с низкой и средней обеспеченностью.

2. Выбор поля. Закладку плантаций ивы белой следует размещать на выводящих полях севооборота, полях выродившихся природных и окультуренных сенокосов и пастбищ. Уклон поля не должен превышать 13 %.

3. Обработка почвы. Система обработки почвы включает основную и предпосевную. После уборки зернового предшественника на легких и средних почвах проводят лущение стерни на глубину 5–7 см, на суглинистых почвах – дискование тяжелыми боронами (БДТ-10 и др.). После лущения через 2–3 недели проводят вспашку на глубину пахотного слоя. При закладке плантации после многолетних трав и на старовозрастных луговых угодьях в начале осени применяются глифосатсодержащие гербициды сплошного действия (3–6 л/га), далее проводят многократную обработку дернины дисковыми боронами, фрезами или чизельными культиваторами. Если существует необходимость, то внесение гербицида сплошного действия можно повторить за 10 дней до вспашки. Вспашка осуществляется на глубину 20–22 см. После вспашки выполняется культивация с боронованием (КПС-9 и др.). На чистых от сорняков почвах проводят только чизелевание в два следа: 1-й на глубину 10–12 см, 2-й – на глубину пахотного слоя культиватором поперек или по диагонали первого прохода культиватора. Комплексную предпосадочную обработку почвы выполняют весной комбинированным почвообрабатывающим агрегатом на глубину 10–12 см (АКШ-7,2 и др.).

4. Выбор сорта. Для посадки следует использовать сорта ивы белой (*Salix alba*), внесенные в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь: Волмянка (378), Бачка (282), Дрина (73–64/8), а также другие высокоурожайные, с высоким потенциалом адаптивности к почвенно-климатическим условиям региона возделывания виды и сорта, которые прошли конкурсное испытание в научно-исследовательских учреждениях.

5. Подготовка посадочного материала. Заготовка посадочного материала осуществляется с декабря по апрель. Подготовка посадочного материала для механизированной посадки черенков связана с заготовкой секатором прутьев ивы диаметром до 2 см с отбором прута по качеству и диаметру; сортировкой ивовых прутьев по длине 1,5–2,5 м и диаметру; увязка в пучки и укладка пучков. При посадке вручную – нарезкой секатором черенков ивы длиной от 20 до 25 см из заготовленного прута, подсчет и увязывание в пучки.

6. Система удобрений. В среднем на формирование 8–10 т абсолютно сухой биомассы ивы за один трехлетний цикл требуется 150–400 кг азота, 24–48 кг фосфора и 180–250 кг калия. Под культивацию после уборки биомассы вносятся полные дозы минеральных удобрений $N_{50}P_{30}K_{60}$ с помощью РУ-3000, РУ-7000 и др. Расчет норм минеральных удобрений проводят с учетом почвенного плодородия и планируемой урожайности.

7. Посадка. Посадка черенков выполняется ранней весной во влажную подготовленную почву. В поздние сроки и в пересохшую почву посадка не допускается. Черенковые саженцы высаживаются в почву на глубину 15–22 см под углом 10–15° с сохранением надземной части 3–4 см. Приживаемость высаженных черенков составляет 90–94 %. Густота посадки на 1 га в пределах 15–18 тыс. черенков. Схема посадки: ширина междурядий – 70 см; расстояние между черенками в ряду – 50–60 см; ширина между двойными рядами – 1,4 м. Посадка осуществляется вручную или механизированно. Механизированная

посадка черенков осуществляется сажалкой (Modular Step 2-2A, Modular Step 2-4A, Modular Step 2-6A, Planter 2-rows STEP, Planter 4-rows STEP и др.). Ручным способом посадка выполняется под меч Колесова.

8. Уход за посадками. После посадки или уборки урожая при появлении побегов ивы и четкого обозначения ее рядков, а также появления всходов сорняков проводится рыхление междурядий и борьба с сорняками с помощью культиваторов (ОКГ-4, ORTOLAN BC 250, ORTOLAN HC 250 и др.). Использование культиваторов допускается при высоте побегов ивы до 60 см. При необходимости для борьбы с сорняками посадка ивы (до 1 м высотой) обрабатывается гербицидами селективного действия (лонтрел 300 и др.). На второй и третий год после посадки рыхление междурядий не проводят. При обнаружении повреждения растений болезнями и насекомыми проводят защитные мероприятия, ограничивающие возможность распространения болезней и вредителей.

9. Уборка урожая. Уборка биомассы древесины осуществляется механизированным способом при помощи силосоуборочного комбайна (Claas Jaguar 830-900 с жаткой HS2), уборочной машиной (JF Energy Harvester, Bender и др.) или уборочной системой рулонного прессования (Biobaler WB-55, New Holland BR740). Высота скашивания не должна превышать 10–15 см от земли. При соблюдении требований к выполнению технологических операций возделывания ивы в среднем обеспечивается урожайность биомассы 17,7 т/га абсолютно сухого вещества, варьируя от 9,7 до 30 т/га.

10. Ликвидация плантации. После уборки урожая выполняется плантажная вспашка (FS.1/95. и др.) с последующим сбором корней по раскорчеванной площади и их сжиганием. На очищенной площади проводят дискование (БДН-3.0 и др.).

В течение эксплуатации плантации в пределах 21 года выполняется циклическое повторение ряда технологических этапов: технологический этап I, II, V выполняется 1 раз; технологический этап III – 7 раз; технологический этап IV – 6 раз. Необходимо отметить, что время эксплуатации не лимитируется 21 годом, а может варьировать от 19 до 25 лет при 6–8 трехлетних циклах, оканчивающихся уборкой древесины.

По разработанной технологической карте определена производственная себестоимость по каждой технологической операции и в целом по технологическому этапу. Производственная себестоимость включает прямые и косвенные расходы. К прямым расходам относят: затраты на амортизацию основных средств; затраты на технический осмотр и ремонт основных средств, материальные затраты, затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды. Косвенные расходы включают общепроизводственные и общехозяйственные затраты.

Затраты на амортизацию основных средств, а также на технический осмотр и ремонт основных средств определены способом списания стоимости пропорционально объему работ. Материальные затраты включают издержки на предметы труда, на оплату работ и услуг производственного характера: посадочный материал, удобрения, горюче-смазочные материалы, запчасти, средства защиты растений и др. Затраты на оплату труда определены из расходов на оплату труда основного производственного персонала организации, включая премии рабочим и служащим за производственные результаты, стимулирующие и компенсирующие выплаты. Затраты, связанные с отчислениями на социальные нужды, определены на основании обязательных страховых взносов по установленным законодательством нормам в государственный внебюджетный фонд социальной защиты населения Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь. Общепроизводственные и общехозяйственные затраты определены на основании удельных средневзвешенных показателей затрат по отрасли.

Результаты исследования и их обсуждение

Производственная себестоимость первого технологического этапа, связанного с основной обработкой почвы, внесением гербицидов сплошного действия, внесением минеральных удобрений в базовом варианте, составляет 255,4 бел. руб/га. Это – подвоз воды для приготовления раствора гербицида сплошного действия (Беларус-80.1+РЖТ-5) – 1,7 %; приготовление раствора и внесение гербицидов сплошного действия (Беларус-82.1+Мекосан-2500-24) – 36,2 %; смешивание минеральных удобрений с погрузкой в разбрасыватель – 10,2 %; транспортировка и внесение фосфорных и калийных удобрений (Беларус-1212+РУ-7000) – 36,2 %; вспашка отвальная (Беларус-2522ДВ+ППО-8-40) – 15,7 %.

При необходимости лущения стерни (Беларус-3022ДЦ.1+АПД-6) и культивации с боронованием (Беларус-3022ДЦ.1+КПС-9) производственная себестоимость возрастет на 26,5 и 21,0 бел. руб/га соответственно.

Производственная себестоимость второго технологического этапа, связанного с предпосадочной обработкой почвы, внесением минеральных удобрений в базовом варианте, составляет 83,0 бел. руб/га. Это – погрузка азотных удобрений (Беларус-80.1+ПКУ-0,8А) – 2,7 %; транспортировка и внесение азотных удобрений (Беларус-80.1+РУ-7000) – 43,6 %; предпосадочная обработка почвы (Беларус-1221+АКШ-7,2) – 38,9 %; заготовка черенков на маточных плантациях (вручную) – 8,8 %; погрузка, подвоз и выгрузка посадочного материала (Беларус-80.1+2ПТС-4,5) – 6,0 %.

В зависимости от средств механизации производственная себестоимость посадки посадочного материала варьирует в широких пределах, изменяясь от 231,2 до 1058,5 бел. руб./га. Так, для четырехрядной посадочной машины – 342,8 бел. руб./га (Беларус-1523+Egedal Energy Planter 4 rows) и 645,0 бел. руб./га (Беларус-1523+Modular Step 2-4A), для двухрядной посадочной машины 377,6 бел. руб./га (Беларус-1221.1+Egedal Energy Planter 2 rows) и 795,7 бел. руб./га (Беларус-1221.1+Modular Step 2-2A). Производственная себестоимость посадки посадочного материала двух- и четырехрядной посадочной машинами представлена на рис. 1.

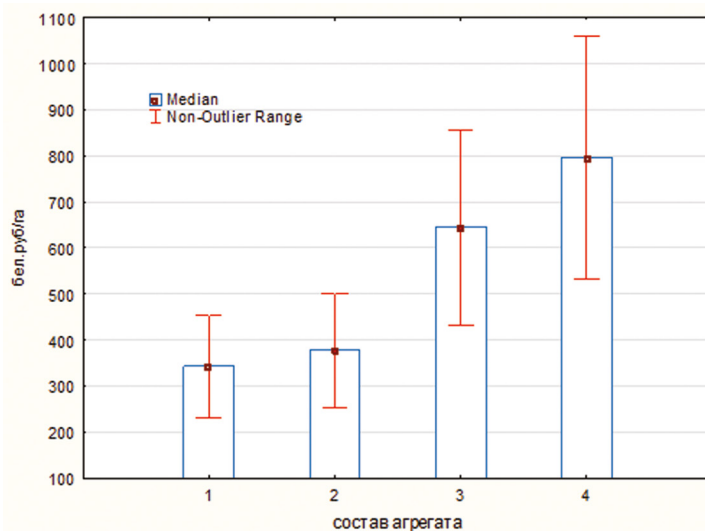


Рис. 1. Производственная себестоимость посадки посадочного материала:

1 – Беларус-1523+Egedal Energy Planter 4 rows; 2 – Беларус-1221.1+Egedal Energy Planter 2 rows; 3 – Беларус-1523+Modular Step 2-4A; 4 – Беларус-1221.1+Modular Step 2-2A

Fig. 1. Plantings production cost price of planting material: 1 – Belarus-1523 + Egedal EnergyPlanter 4 rows; 2 – Belarus-1221.1 + Egedal Energy Planter 2 rows; 3 – Belarus-1523 + Modular Step 2-4A; 4 – Belarus-1221.1 + Modular Step 2-2A

Производственная себестоимость третьего технологического этапа, связанного с предпосадочной обработкой, внесением минеральных удобрений в базовом варианте составляет 249,0 бел. руб./га. Это – смешивание минеральных удобрений с погрузкой в разбрасыватель (Беларус-80.1+ИСУ-4А) – 8,0 %; транспортировка и внесение фосфорных и калийных удобрений (Беларус-1221.1+РУ-7000) – 24,9 %; погрузка азотных удобрений (Беларус-80.1+ПКУ-0,8А) – 1,3 %; транспортировка и внесение азотных удобрений (Беларус-1221.1+РУ-7000) – 2,6 %; рыхление междурядий (Беларус-82.1+ОКГ-4) – 46,8 %; подвоз воды для приготовления раствора гербицида (Беларус-82.1+РЖТ-5) – 1,9 %; приготовление раствора и внесение гербицида (Беларус-82.1+Мекосан-2500-24) – 14,5 %.

При использовании культиватора ORTOLAN HC 250 на базе трактора Беларус-82.1 для рыхления междурядий производственная себестоимости базового технологического этапа снизится на 12,9 %, до 216,2 бел. руб./га. Производственная себестоимость уборки биомассы различными средствами механизации представлена на рис. 2. Производственная себестоимость уборки биомассы кормоуборочных комбайнов (Claas Jaguar 860, Krone Big X 650, New Holland FR 9060, John Deere 7050), оборудованных приставками (HS-2, Wood Cut 1500, 130 FB, CRL) в среднем составляет 1965,9±127,0 бел. руб./га. Средняя минимальная производственная себестоимость среди кормоуборочных комбайнов соответствует 1711,8±680,7 бел. руб./га (John Deere 7050+CRL), что на 19,5 %, или 338,8 бел. руб./га ниже по отношению к 1–3 вариантам. Средняя максимальная производственная себестоимость 2159,6±1297,2 бел. руб./га (New Holland FR 9060+130 FB), что на 8,5 % и 7,9 % выше по отношению к 1 и 2 вариантам. Производственная себестоимость уборки биомассы на базе тракторов (Claas Xerion VC 3800, Беларус-1221), оборудованных харвестерами (Jenz GMHT 140, NYVRAA JF Z20, Bender 6WG), в среднем составляет 1289,2±396,0 бел. руб./га. Вариант Claas Xerion VC 3800+Jenz GMHT 140 соизмерим с вариантами 1–3 – 1733,4±420,8 бел. руб./га, который является наиболее затратным по отношению к вариантам 5 и 7. Варианты 5 и 7 свидетельствуют о средней минимальной производственной себестоимости – 1067,2±371,9 бел. руб./га, что в первую очередь определяется существенным отличием амортизационных отчислений. Так, доля отчислений на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт в 5 и 7 вариантах в среднем – 722,1 бел. руб./га, что на 39,4 % ниже вариантов 1–4 – 1191,6 бел. руб./га. Итак, по представленным вариантам флуктуация удельного веса отчислений на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт агрегатов в структуре производственной себестоимости составляет 81,2–88,1 %. Из них агрегаты на базе кормоуборочных комбайнов – 84,6–86,8 %, агрегаты на базе тракторов – 81,2–88,1 %.

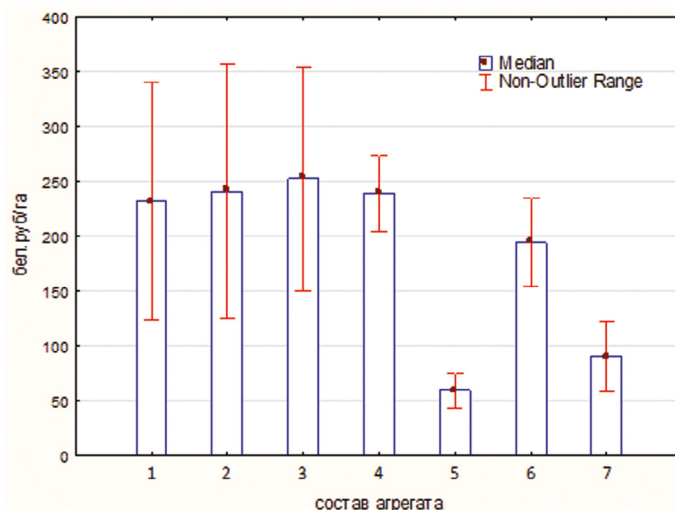


Рис. 2. Производственная себестоимость уборки биомассы:

1 – Claas Jaguar 860+HS-2; 2 – Krone Big X 650+Wood Cut 1500; 3 – New Holland FR 9060+130 FB; 4 – Claas Xerion VC 3800+Jenz GMHT 140; 5 – Беларус-1221+NYVRAA JF Z20; 6 – John Deere 7050+CRL; 7 – Беларус-1221+Bender 6WG

Fig. 2. Production cost price of harvesting biomass: 1 – Claas Jaguar 860 + HS-2; 2 – Krone Big X 650 + Wood Cut 1500; 3 – New Holland FR 9060 + 130 FB; 4 – Claas Xerion VC 3800 + Jenz GMHT 140; 5 – Belarus-1221 + NYVRAA JF Z20; 6 – John Deere 7050 + CRL; 7 – Belarus-1221 + Bender 6WG

В качестве базового варианта агрегата сбора и транспортировки убранной биомассы принят Беларус-82.1+2ПТС-4,5-1. При урожайности абсолютно сухой биомассы 12 т/га, средней естественной влажности уборки биомассы 44 % и норматива отходов, образующихся при уборке урожая 9 %, количество требуемых рейсов составляет 8. Графическая интерпретация количества рейсов от ожидаемой урожайности представлена на рис. 3.

Транспортная грузоподъемность при пограничных значениях влажности свежесрубленной надземной части биомассы древостоя без листвы 32–63 % варьирует от 2,07 до 3,81 т. Производственная себестоимость при уборке и транспортировке биомассы предложенными вариантами в среднем за рейс составляет $42,2 \pm 18,3$ или $360,2 \pm 20,7$ бел. руб/га.

Производственная себестоимость ликвидации плантации в базовом варианте технологической караты, включающей плантажную вспашку; сбор корней, древесных остатков по раскорчеванной площади и их сжигание; дискование; культивацию с боронованием, составляет 723,9 бел. руб/га. Из них на долю плантажной вспашки (Беларус-2522+FS.1/95) – 89,4 %, сбора корней, древесных остатков по раскорчеванной площади и их сжигание – 5,4 %, дискования – 2,3 %, культивацию с боронованием – 2,8 %. При отказе от технологических операций, связанных с дискованием и культивацией, с боронованием, производственная себестоимость снизится до 686,2 бел. руб/га.

Необходимо отметить, что в зависимости от поставленных экологических задач (фиторемедиация почв, защита почв от водной и ветровой эрозии, утилизация биогенных элементов, сохранение биологического разнообразия и др.), выполнение заключительного технологического этапа может носить сугубо рекомендательный характер.

В структуре производственной себестоимости I и III технологических этапов затраты на сырье и материалы являются максимальными и составляют 67,5 % и 66,2 % соответственно. Затраты на оплату труда варьируют от 0,3 до 4,4 %, из которых минимальное значение соответствует IV технологическому этапу, но при этом в абсолютном выражении являются максимальными, среднее значение по этапам – 3,1 %. Обязательные страховые взносы пропорциональны затратам на оплату труда и варьируют от 0,1 до 1,6 %. Затраты на амортизацию основных средств варьируют от 10,5 % до 52,1 %, I и III технологические этапы – 10,5 и 12,8 %, максимальное значение относится ко II технологическому этапу, V и IV – 33,9 и 44,0 %. Затраты на ТО и ремонт основных средств варьируют от 11,7 % до 49,2 %, I и III технологические этапы – 13,5 и 11,7 %, максимальное значение относится к V технологическому этапу, II и IV – 28,7 и 43,0 %. Затраты, связанные с ОХР и АХР, приняты для всех технологических этапов в размере 5 % от производственной себестоимости технологической операции.

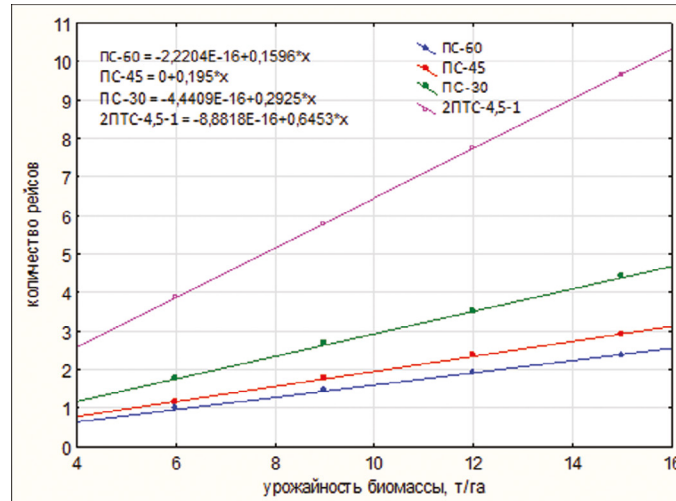


Рис. 3. Количество рейсов Беларус-82.1+(ПС-60; ПС-45; ПС-30; 2ПТС-4,5-1) при уборке и транспортировке биомассы

Fig. 3. Number of flights of Belarus-82.1 + (PS-60, SS-45, PS-30, 2PTS-4,5-1) during harvesting and transportation of biomass

Структура затрат производственной себестоимости технологических этапов представлена на рис. 4. Полученные данные свидетельствуют о преобладании затрат связанных с амортизацией, ТО и ремонта основных средств, на долю которых приходится 73,5 %. Необходимо отметить, что вклад импортных средств агрегации и механизации в структуру затрат на амортизацию, ТО и ремонт основных средств, составляет 89,7 % и 89,1 % соответственно. Данное обстоятельство является основополагающим аспектом для поиска путей импортозамещения с целью существенного снижения производственной себестоимости, а также развития собственной технической базы для возделывания древесно-кустарниковых пород с коротким периодом роста. Затраты на сырье и материалы занимают третью позицию и составляют 20,0 %. Доля затрат на ОХР и АХР, оплату труда, обязательные страховые взносы составляют 6,5 %.

Структура затрат производственной себестоимости в течение эксплуатации плантации в разрезе 21 года представлена на рис. 5. При урожайности абсолютно сухой биомассы 10–12 т/га/год и норматива отходов, образующихся при уборке урожая 9 %, полная себестоимость производства щепы составляет 6,57–7,64 бел. руб/нас. м³.

При планируемой рентабельности 0 % простой срок окупаемости требуемых инвестиций составит 12–15 лет, отпускная цена производителя – 7,89–9,17 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль – 105,0–108,3 бел.руб/га, внутренняя норма доходности – 23,5–24,0 %, рентабельность инвестиций – 796,9–822,2 %. В том случае, если существует необходимость исключения из технологического процесса заключительного технологического этапа, связанного с ликвидацией плантации, простой срок окупаемости требуемых инвестиций при планируемой рентабельности 0 % снизится до 9–12 лет.

При планируемой рентабельности 110,9–115,1 % простой срок окупаемости требуемых инвестиций – 3 года, то есть после первого трехлетнего цикла. При этом отпускная цена производителя составит 15,17–17,97 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль – 709,1 бел. руб/га, внутренняя норма доходности – 82,0 %, рентабельность инвестиций – 5381,4–5383,3 %.

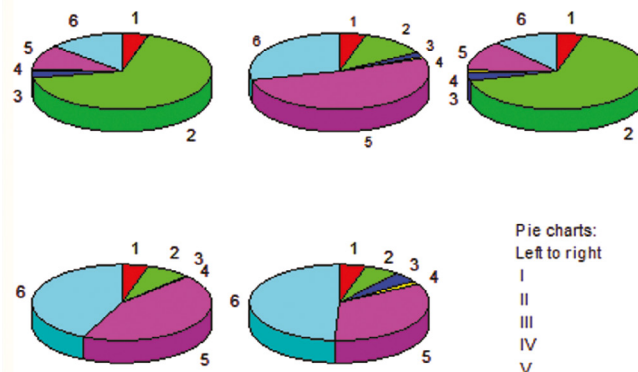


Рис. 4. Структура затрат производственной себестоимости технологических этапов:
1 – ОХР и АХР; 2 – сырье и материалы; 3 – оплата труда; 4 – обязательные страховые взносы;
5 – амортизация основных средств; 6 – ТО и ремонт основных средств

Fig. 4. Cost structure of the production cost price of the technological stages: 1 – General running costs and Administrative expenses; 2 – rawmaterials and materials; 3 – salary; 4 – compulsory insurance contributions; 5 – depreciation of fixed assets; 6 – Maintenance and repair of fixed assets

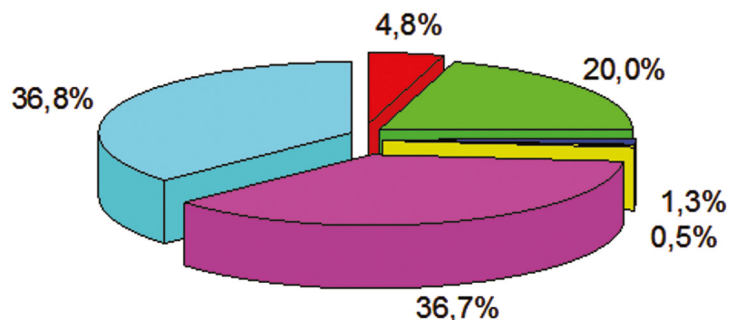


Рис. 5. Структура затрат производственной себестоимости

Fig. 5. Cost structure of production cost

При планируемой рентабельности 34,6–36,3 % простой срок окупаемости требуемых инвестиций составит 6 лет, отпускная цена производителя – 10,16–11,95 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль – 295,6 бел. руб/га, внутренняя норма доходности – 46,3 %, рентабельность инвестиций – 2244,7–2243,4 %.

При планируемой рентабельности 9,1–10,1 % простой срок окупаемости требуемых инвестиций составит 9 лет, отпускная цена производителя – 8,48–9,94 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль – 157,99 бел. руб/га, внутренняя норма доходности – 30,6 %, рентабельность инвестиций – 1196,3–1199,4 %.

При закладке плантации с целью утилизации биогенных элементов полная себестоимость производства щепы с учетом изменения структуры технологических операций снизится на 5,6 % и составит 6,20–7,20 бел. руб/нас. м³, что при отпускной цене производителя 7,89 бел. руб/нас. м³ позволит повысить среднегодовую чистую прибыль на 31,1 бел. руб/га, внутреннюю норму доходности на 11,1 %, рентабельность инвестиций на 915,5 %.

В целом графическая интерпретация накопления денежных средств базового и альтернативных вариантов, в зависимости от статей доходов и расходов, а также сроков окупаемости капиталовложений представлена на рис. 6.

Согласно рис. 6, внутренняя норма доходности для базового варианта составляет 16,3 %; 23,7 % – (доходы +5 %; расходы –5 %); 31,0 % – (доходы +10 %; расходы –10 %); 8,1 % – (доходы –5 %; расходы +5 %); (доходы –10 %; расходы +10 %) – норма доходности отрицательная.

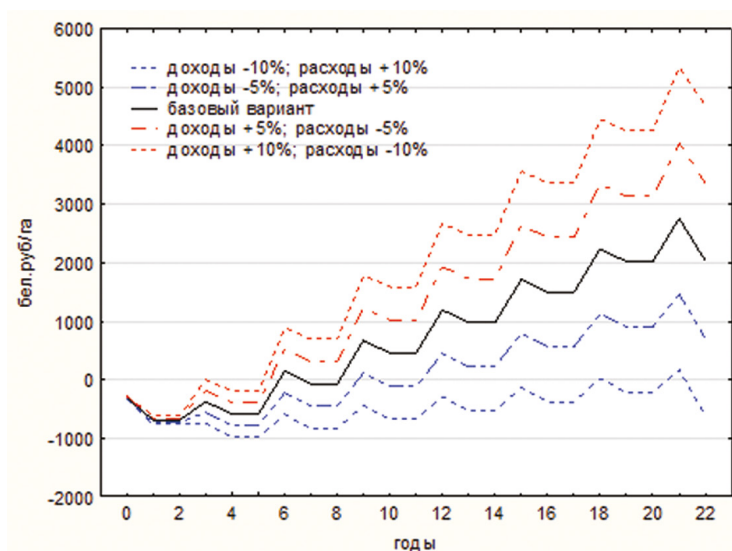


Рис. 6. Накопление денежных средств базового и альтернативных вариантов

Fig. 6. Accumulation of funds of basic and alternative variants

Себестоимость 1 т у. т. щепы ивы белой (*Salix alba*), при урожайности абсолютно сухой биомассы 10–12 т/га/год, норматива отходов, образующихся при уборке урожая 9 %, и естественной влажности уборки биомассы 44 %, варьирует от 52,51 до 61,08 дол. США. Стоит отметить, что при составлении

технико-экономических обоснований энергосберегающих мероприятий и оценки сроков их окупаемости на 2018 г. расчетную стоимость 1 т у. т следует оценить в 220 дол. США. Так, себестоимость 1 т у. т, полученной разработанной технологической картой ниже на 72,2–76,1 % или 123,9–127,8 дол. США по отношению к целевому показателю. Отметим, что при сохранении паритета между целевым показателем стоимости 1 т у. т. и отпускной ценой производителя при валовой урожайности 10–12 т/га/год, рентабельность составит 240–299 %, отпускная цена производителя – 27,53 бел. руб/нас. м³, среднегодовая чистая прибыль – 1355,3–1727,6 бел. руб/га, внутренняя норма доходности 122,4–140,2 %, рентабельность инвестиций 10360,1–13114,4 %.

Чистая приведенная стоимость капиталовложений за 22 года в зависимости от статей доходов, расходов, ставки дисконтирования, представлена в табл.

Таблица

Чистая приведенная стоимость капиталовложений (Net present value of investments)

Table

Net present value of investments

Вариант	Ставка дисконтирования, %				
	17	18	19	20	21
(доходы +10 %; расходы -10 %)	509	444	385	333	286
(доходы +5 %; расходы -5 %)	242	194	151	112	78
базовый	-24	-56	-83	-108	-130
(доходы -5 %; расходы +5 %)	-281	-296	-309	-320	-330
(доходы -10 %; расходы +10 %)	-542	-541	-539	-536	-534

Представленные показатели свидетельствуют о том, что при ставке дисконтирования 17–21 %, чистая приведенная стоимость капиталовложений варьирует от 286 до 509 бел. руб/га, которая соответствует варианту (доходы +10 %; расходы –10 %). Для варианта (доходы +5 %; расходы –5 %) чистая приведенная стоимость варьирует от 78–242 бел. руб/га. При базовом варианте, а также вариантах (доходы –5 %; расходы +5 %) и (доходы –10 %; расходы +10 %) чистая приведенная стоимость капиталовложений принимает отрицательные значения. Чистая приведенная стоимость капиталовложений базового варианта принимает положительное значение при ставке дисконтирования 16 % и составляет 11 бел. руб/га.

Представленные исследования по адаптации возделывания являются актуальными при определении финансовых перспектив будущих инвестиционных проектов; оценке необходимости привлечения внешних источников финансирования; расчете потребности в трудовых, материально-энергетических и финансовых ресурсах; определении стоимости проектных работ; получении предварительной укрупненной оценки стоимости инвестиционных проектов; оценке рисков, связанных с внедрением проектов; обосновании выбора технологии и комплектности средств оборудования с учетом нескольких вариантов расчета при различных схемах и источниках финансирования; расчете экономической эффективности и сроках окупаемости проектов.

Заключение

По результатам исследований разработана математическая модель «Bio willow», реализованная в пакете Microsoft Excel, позволяющая определить критерий технико-экономического обоснования возделывания ивы белой (*Salix alba*) в зависимости от предлагаемой технологической карты. Разработанный блок оценки технико-экономического обоснования интегрирован с блоками: технологическая карта; калькуляция затрат; биоэнергетическая эффективность; оценка воздействия жизненного цикла возделывания и производства щепы ивы белой (*Salix alba*); оценка воздействия жизненного цикла при конверсии щепы.

Предложенная модель достаточно успешно может быть адаптирована для других видов ивы древесно-кустарниковых пород с коротким периодом роста, а также другой растениеводческой продукции.

Данный подход дает возможность комплексно выявить количественные энергетические, экономические и экологические показатели продукции, а также обосновать выбор оптимальной технологии при сравнении альтернативных вариантов.

Библиографические ссылки

1. Кунцов Н. С., Попов Е. Г. Энергоплантации : справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск, 2015.
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении Государственной программы «Энергосбережение» на 2016–2020 годы» № 248 от 28.03.2016.
3. Peschel T, Weitz M. Short Rotation Coppice Plantations – Concepts for Establishment and Operation Methods for Short Rotation Coppice (SRC) Projects for EU Bioenergy Plants. OPTFUEL – Optimized Fuels for Sustainable Transport. Lignovis GmbH, Hamburg, 2013 (Germany).
4. Dimitriou I., Rutz D. Sustainable Short Rotation Coppice – A Handbook. WIP Renewable Energies. Munich, 2015 (Germany).
5. Межотраслевые нормы выработки, времени и нормативы численности на подготовительные и вспомогательные работы в лесозаготовительном производстве (утв. Постановлением Минтруда РФ от 21.04.1993 № 90).
6. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве : сборник. М., 2008.
7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур : сборник отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси; НИЦ НАН Беларуси по земледелию ; рук. разработ. : Ф. И. Привалов [и др.]. Минск, 2012.
8. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сборник отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию ; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. Минск, 2012.
9. Бутько А. А., Пашинский В. А., Родькин О. И. Оценка биоэнергетической эффективности технологии возделывания ивы в короткоцикловых посадках // «Вест. ИрГСХА». 2016. Вып. 75. С. 8–17.

Referenes

1. Kuptsov N. S, Popov E. G. Energotyplantation : Reference book on the use of energy plants. Minsk, 2015 (in Russ.).
2. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus «On approval of the State Program» Energy Saving «for 2016–2020» No. 248 of 28.03.2016 (in Russ.).
3. Peschel T., Weitz M. Short Rotation Coppice Plantations – Concepts for Establishment and Operation Methods for Short Rotation Coppice (SRC) Projects for EU Bioenergy Plants. OPTFUEL – Optimized Fuels for Sustainable Transport. Lignovis GmbH, Hamburg, 2013 (Germany).
4. Dimitriou I., Rutz D. Sustainable Short Rotation Coppice – A Handbook. WIP Renewable Energies. Munich, 2015 (Germany).
5. Inter-industry norms of production, time and standards of numbers for preparatory and auxiliary work in logging operations (approved by the Decree of the Ministry of Labor of the Russian Federation No. 90 of Apr. 21, 1993) (in Russ.).
6. Normative and reference materials on the planning of mechanized works in agricultural production: Collection. Moscow, 2008 (in Russ.).
7. Organizational and technological standards for cultivation of cereals, legumes, cereals : collection. Branch regulations / Nats. Acad. Sciences of Belarus, NPC of NAS of Belarus on agriculture; Hands. Developed by FI Privalov, et al. Minsk, 2012 (in Russ.).
8. Guskova V. G., Privalov F. I. (ed.) Organizational and technological standards for cultivation of fodder and industrial crops: Sat. Branch regulations / Nats. Acad. Sciences of Belarus, Nauch. Pract. Center of Nat. Acad. Sciences of Belarus on agriculture ; Hands. Developed. Minsk, 2012 (in Russ.).
9. Butko A. A., Pashinsky V. A., Rodkin O. I. Estimation of bioenergetic efficiency of technology of willow cultivation in short-cycle plantings : Sci. and Pract. *Vestn. IrGSKhA*. 2016, issue 75. P. 8–17 (in Russ.).

*Статья поступила в редакцию 01.06.2017
Received by editorial board 01.06.2017*

УДК 630*2:546.26

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСА УГЛЕРОДА В РЕЗЕРВУАРЕ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В МАЛОНАРУШЕННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ БЕЛАРУСИ

С. А. ЖДАНОВИЧ¹⁾, А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ¹⁾

¹⁾ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича» НАН Беларуси,
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь

Определены запасы углерода в резервуаре крупных древесных остатков (КДО) в малонарушенных сосновых суходольных лесах Беларуси. Средние значения запаса углерода в разрезе групп возраста составили: 6,5 т С га⁻¹ в молодняках (21–40 лет), 9,0 т С га⁻¹ в средневозрастных (41–60 лет), 10,1 т С га⁻¹ в приспевающих, 9,1 т С га⁻¹ в спелых и 12,3 т С га⁻¹ в перестойных насаждениях, или 15,6, 11,5, 11,5, 11,3 и 14,4 % от запаса углерода в резервуаре стволовой древесины растущей части древостоя соответственно. Для КДО сосны, ели и березы, включающих сухостой и валеж 1–5 стадий разложения, рассчитаны коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода.

Ключевые слова: малонарушенные сосновые леса; крупные древесные остатки; стадии разложения; запас углерода.

DIFFERENTIAL ESTIMATION OF CARBON STORE CONTAINED IN THE COARSE WOODY DEBRIS POOL IN THE BELARUSSIAN NEAR NATURAL PINE FORESTS

S. A. ZHDANOVICH^a, A. V. PUGACHEVSKIY^a

^aThe state scientific establishment «Institute of experimental botany of V. F. Kuprevich
of the National Academy of Sciences of Belarus»,
Academicheskaja street, 27, 220072, Minsk, Belarus
Corresponding author: avp@biobel.bas-net.by

Stores of carbon contained in the coarse woody debris (CWD) pool in the Belorussian near natural upland pine forests were determined. Average values of carbon store for different forests age groups were calculated: 6,5 ton C ha⁻¹ in young-growth (aged 21–40), 9,0 ton C ha⁻¹ in middle-aged (aged 41–60 лет), 10,1 ton C ha⁻¹ in ripening, 9,1 ton C ha⁻¹ in mature and 12,3 ton C ha⁻¹ in old-growth forests. It's equivalent to 15,6, 11,5, 11,5, 11,3 and 14,4 % of carbon store contained in the trunks of the living stands for above forest groups, respectively. The coefficients for conversion of CWD store into carbon mass for pine, spruce and birch coarse woody debris, including snags and logs of 1–5 decay stages were calculated.

Key words: near natural pine forests; coarse woody debris; decay stages; carbon store.

Образец цитирования:

Жданович С. А., Пугачевский А. В. Дифференцированная оценка запаса углерода в резервуаре крупных древесных остатков в малонарушенных сосновых лесах Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 101–108

For citation:

Zhdanovich S. A., Pugachevskiy A. V. Differential estimation of carbon store contained in the coarse woody debris pool in the Belarussian near natural pine forests. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 101–108. (in Russ.).

Авторы:

Сергей Анатольевич Жданович – научный сотрудник сектора мониторинга растительного мира.
Пугачевский Александр Викторович – кандидат биологических наук; директор ИЭБ им. В. Ф. Купревича.

Authors:

Sergey A. Zhdanovich, researcher of sector of vegetation monitoring.
zhsa82@mail.ru
Aleksandr V. Pugachevskiy, PhD (biological); director of Kuprevich institute of experimental botanics.
avp@biobel.bas-net.by

Введение

Способность депонировать и удерживать в органическом веществе атмосферный углерод обуславливает важную роль лесных экосистем в углеродном балансе биосферы [1–3]. Бореальные леса, занимающие около 33 % поверхности суши, содержат 25 % растительного и 60 % почвенного углерода, что составляет около 50 % глобальных запасов углерода, заключенного в биомассе и почве [4–6].

Исследование роли древесных остатков в углеродном цикле является относительно новым направлением [7–9]. В последнее время они рассматриваются не только как источник образования атмосферного CO_2 [7; 10–11], но и благодаря продолжительному периоду деструкции в естественных условиях [12–14], как пул долговременного хранения углерода [9], особенно в бореальных лесах [15–16]. Накопление и деструкция КДО в результате их ксилолиза вносит существенный вклад в формирование углеродного баланса лесной экосистемы. Поступив в отпад, валеж и сухостой, постепенно разлагаясь, выделяют в атмосферу углекислый газ и принимают активное участие в формировании баланса углерода в лесной экосистеме. В ряде случаев древесные остатки способны обеспечивать частичную компенсацию углеродных потерь почвы при лесоразведении на бывших сельскохозяйственных землях [17].

В соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата, ее стороны (в их числе Республика Беларусь) должны содействовать рациональному использованию накопителей всех парниковых газов, включая биомассу и леса [18]. Кроме того, Парижское соглашение, принятое на двадцать первой сессии конференции сторон Рамочной конвенцией ООН об изменении климата, состоявшейся 30 ноября – 11 декабря 2015 г. в Париже и подписанное Белорусской стороной, призывает к увеличению накоплений углерода в лесах в развивающихся странах [19]. Выполнение международных обязательств в области изменения климата подразумевает составление баланса углерода для страны в целом, что невозможно без адекватных оценок запасов углерода в отдельных пулах, в том числе такого насыщенного углеродом резервуара, как КДО в лесных экосистемах.

В Беларуси сведения о фактических актуальных запасах древесных остатков (сухостоя и захламленности) в лесном фонде фиксируются при проведении базового лесоустройства лесхозов и других юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, каждые 10 лет. Сухостой, валеж и бурелом учитываются при их суммарном объеме не менее $10 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, оценка осуществляется глазомерно, с точностью $10 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. При этом не учитывается распределение древесных остатков по породам и степени деструкции. Если в эксплуатационных лесах запасы древесных остатков, как правило, невысоки и представлены главным образом единичным древесным отпадом, пнями и мелкими фракциями древесного детрита (порубочные остатки, веточный опад и др.), то в условиях естественной динамики лесных экосистем доля КДО может составлять от четверти до половины запаса растущего древостоя [20–21], при этом древесный отпад представлен различными стадиями разложения, отличающимися по плотности древесины и, следовательно, содержанию (на единицу объема) углерода. В таких экосистемах для адекватной оценки бюджета и потоков углерода, заключенного в КДО, необходимо определение его содержания в древесных остатках с учетом их породного состава, типа и степени разложения.

Цель данной работы – выполнить количественную оценку запаса углерода в резервуаре КДО в малонарушенных (естественно развивающихся), характеризующихся отсутствием или незначительной степенью антропогенного нарушения, биологически устойчивых сосновых насаждениях Беларуси, а также рассчитать коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на 37 пробных площадях (ПП), расположенных в сосновых насаждениях Березинского биосферного заповедника, национальных парков «Беловежская пуща» и «Нарочанский», Борисовского и Осиповичского опытных лесхозов, Полоцкого учебно-опытного лесхоза, Полоцкого лесхоза и Боровлянского спецлесхоза. В возрастном спектре обследованных насаждений были представлены молодняки, средневозрастные, припевающие, спелые и перестойные древостои 2–10 классов возраста мшистого, черничного, орлякового и кисличного типов леса. Насаждения на всех ПП были малонарушенными: относились к биологически устойчивым, в них отсутствовали очаги вредителей и болезней, древесный отпад формировался, преимущественно, за счет единичных угнетенных или старых деревьев, относительная полнота была нормальной для данного возраста, отсутствовали следы любых рубок и других воздействий, способствующих образованию древесного отпада.

Дифференциация валежа по степени деструкции проводилась с помощью шкалы разложения валежной древесины, модифицированной нами [22] на основе шкалы стадий разложения валежа ели, предложенной В. Г. Стороженко [12]. Абсолютно сухую массу ствольной древесины растущих деревьев, свежих валежа и бурелома рассчитывали по формуле:

$$Ph_{\text{ств}} = M \times [(1 - K) \times \rho_6 + K \times \rho_k] : 1000, \quad (1)$$

где $Ph_{\text{ств}}$ – абсолютно сухая масса, т/га;

M – запас ствольной древесины в коре, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$;

K – доля коры в объеме ствола, взятая из литературных источников [23];

ρ_6 – базисная плотность древесины, взятая из литературных источников [24], кг м^{-3} ;

ρ_k – плотность коры, взятая из литературных источников [23], кг м^{-3} .

Для перевода запаса валежа 1–5 стадий разложения в абсолютно сухую массу ($Ph_{\text{кдо}}$) использовали показатель базисной плотности, который рассчитывали как отношение массы абсолютно сухого образца к его фактическому объему при полевой влажности. Образцы отбирались из валежа и сухостоя сосны, ели и березы. Из стволов выпиливались поперечные спилы толщиной примерно 5 см, которые тут же взвешивались с точностью 0,5 г. У каждого спила измерялись два диаметра в перпендикулярных друг другу направлениях и четыре значения толщины, объем вычислялся по формуле цилиндра. При невозможности вычислить объем частично разложившихся образцов геометрически, их объем определяли ксилотрихическим методом, а в случае сильно разложившейся древесины отбор образцов производился стальным цилиндром с известным объемом [25]. В лабораторных условиях образцы высушивались при температуре 105 °С до постоянной массы. Всего для определения базисной плотности было обработано 136 образцов. Средние значения базисной плотности были рассчитаны для сухостоя и валежа сосны, ели и березы в разрезе стадий разложения. Для КДО осины и дуба, единично встречавшихся в обследованных насаждениях, базисная плотность КДО была рассчитана путем пропорционального изменения величины базисной плотности свежесрубленной ствольной древесины этих пород, рассчитанной с учетом базисной плотности древесины, плотности и доли коры, взятых из литературных источников [23–24]. Для расчета пропорции использовались соотношения базисной плотности свежесрубленной ствольной древесины березы и березового сухостоя или валежа различных стадий разложения.

Содержание углерода в КДО определяли для образцов с известным значением базисной плотности, отобранных из валежа сосны, ели и березы на анализаторе VARIO EL III фирмы ELEMENTAR методом сжигания с последующей газовой хроматографией. Долю углерода в сухом веществе (CF) растущих стволов, сухостоя, свежего валежа и бурелома по умолчанию принимали 0,5 [26]. Для валежа 1–5 стадий разложения этот показатель устанавливали на основании вычисленных в разрезе стадий разложения средних значений базисной плотности, с использованием полученных нами [27] регрессионных моделей, представленных уравнениями (2–4) для валежа сосны, ели и березы соответственно.

$$C_C = -4,16 \times \ln \rho_6 + 73,52, \quad R^2 = 0,83, \quad (2)$$

$$C_E = -5,14 \times \ln \rho_6 + 79,70, \quad R^2 = 0,65, \quad (3)$$

$$C_B = -4,28 \times \ln \rho_6 + 76,47, \quad R^2 = 0,78, \quad (4)$$

где C_C , C_E , C_B – содержание углерода в абсолютно сухой массе валежа сосны, ели и березы, %;

ρ_6 – базисная плотность валежа, кг м^{-3} ;

R^2 – коэффициент детерминации.

Конверсионные коэффициенты (C/M) для перевода запаса КДО в запас углерода рассчитывались по формуле (5), запас углерода в резервуаре валежа по формуле (6) и запас углерода в резервуаре ствольной древесины растущих деревьев, свежего валежа и бурелома по формуле (7):

$$C/M = 0,001 \times \rho_6 \times CF, \quad (5)$$

$$C_{\text{кдо}} = Ph_{\text{кдо}} \times CF, \quad (6)$$

$$C_{\text{ств}} = Ph_{\text{ств}} \times 0,5, \quad (7)$$

где C/M – конверсионный коэффициент перевода запаса КДО в запас углерода, т С м^{-3} ;

$C_{\text{кдо}}$ – запас углерода в резервуаре валежа, т С га^{-1} ;

$C_{\text{ств}}$ – запас углерода в резервуаре ствольной древесины растущих деревьев, свежего валежа и бурелома, т С га^{-1} ;

CF – доля углерода в абсолютно сухой массе КДО.

Статистические показатели оценки средних значений базисной плотности и запаса углерода рассчитывались в соответствии с [28].

Результаты исследования и обсуждение

Наибольшим содержанием углерода в единице объема для всех древесных пород характеризовался сухостой, что связано с более высокими, по сравнению с другими фракциями КДО, средними значениями базисной плотности, вследствие меньшей деструкции и влажности сухостоя, которая в среднем была меньше предела гигроскопичности древесины. Содержание углерода в единице объема (коэффициенты конверсии) крайних стадий разложения валежа в зависимости от древесной породы отличалось в 3,4–4,4 раза (табл. 1).

Таблица 1

Базисная плотность, содержание углерода и коэффициенты конверсии *C/M* для КДО сосны, ели и березы

Table 1

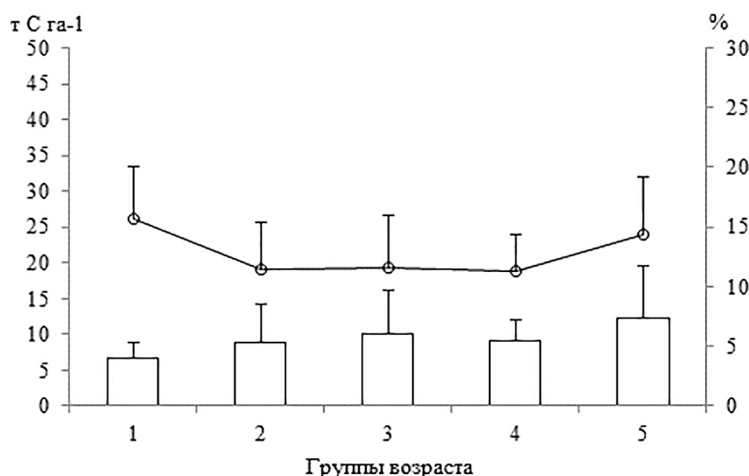
Reference density, carbon concentration and conversion rates for CWD of pine, spruce and birch

Древесная порода	Тип КДО и стадии разложения	$\rho_0 \pm SD$, кг м ⁻³	C_v , %	C_s , %	C , %	Коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода, т С м ⁻³
Сосна	Сухостой	442 ± 27,8	6,3	1,9	50,0	0,221
	Валеж					
	1	393 ± 36,2	9,2	1,7	48,7	0,191
	2	318 ± 15,5	4,9	1,2	49,5	0,158
	3	242 ± 20,3	8,4	1,8	50,7	0,123
	4	128 ± 6,6	5,2	2,6	53,3	0,068
	5	106 ± 9,5	8,9	3,4	54,1	0,057
Ель	Сухостой	426 ± 35,4	8,3	5,9	50,0	0,213
	Валеж					
	1	354 ± 21,5	6,1	2,0	49,5	0,175
	2	302 ± 8,5	2,8	1,2	50,3	0,152
	3	215 ± 21,0	9,8	4,9	52,1	0,112
	4	81 ± 7,3	9,0	4,5	57,1	0,046
	5	69 ± 3,2	4,6	2,7	57,9	0,040
Береза	Сухостой	530 ± 6,4	1,2	0,8	50,0	0,265
	Валеж					
	1	486 ± 72,4	14,9	7,4	50,0	0,243
	2	315 ± 12,7	4,0	2,9	51,8	0,163
	3	245 ± 27,8	11,3	6,5	52,9	0,130
	4	187 ± 17,0	9,1	5,3	54,1	0,101
	5	114 ± 8,1	7,1	4,1	56,2	0,064

Примечание. ρ_0 – базисная плотность (средние значения), SD – стандартное отклонение, C_v – коэффициент вариации, C_s – точность оценки базисной плотности, C – содержание углерода в абсолютно сухой массе КДО.

С использованием коэффициентов конверсии, приведенных в табл. 1, и измеренных запасов КДО в разрезе древесных пород и стадий разложения были рассчитаны абсолютные (в тоннах углерода на 1 га) и относительные (в процентах от запаса углерода в резервуаре стволовой древесины растущей части древостоя) величины запаса углерода, которые проанализированы в разрезе групп возраста обследованных насаждений. Средние абсолютные величины запаса углерода в резервуаре КДО в разрезе групп возраста составили: в молодняках второго класса возраста 6,55, средневозрастных – 8,96, приспевающих – 10,06, спелых – 9,06 и перестойных насаждениях – 12,31 т С га⁻¹. Иная динамика запаса углерода была отмечена при рассмотрении его относительных значений. В молодняках средний относительный запас углерода был максимальным – 15,6 %, в средневозрастных, приспевающих и спелых насаждениях он практически не отличался и составил 11,5, 11,5 и 11,3 % соответственно, а в перестойных насаждениях был равен 14,4 % (рис. 1).

Такое соотношение относительного запаса углерода в разрезе возрастных групп вполне объяснимо динамикой процессов прироста и отпада в ходе роста сосновых древостоев. Интенсивное естественное изреживание в сосновых молодняках приводит к накоплению древесных остатков, представленных слабо разложившимися высокоуглеродистыми фракциями (главным образом сухостоем).



Группы возраста насаждений: 1 – молодняки (21–40 лет), 2 – средневозрастные (41–60 лет), 3 – приспевающие (61–80 лет), 4 – спелые (81–120 лет), 5 – перестойные (свыше 120 лет)

Рис. 1. Средние величины абсолютного (столбцы) и относительного (линия) запасов углерода в резервуаре КДО в разрезе групп возраста и стандартные отклонения (вертикальные планки)

Fig. 1. Average values of absolute (columns) and relative (lines) carbon store contained in the coarse woody debris pool for different forests age groups, and standard deviations (vertical bars)

По мере дальнейшего роста насаждений конкурентные отношения между деревьями становятся менее острыми, происходит увеличение запаса древостоя, одновременно снижается величина текущего отпада, в результате естественной деструкции в запасе КДО увеличивается доля средне- и сильно разложившихся фракций. В перестойных насаждениях, вследствие естественного старения, процессы отпада начинают преобладать над приростом, что приводит к накоплению запасов углерода в резервуаре КДО с одновременным уменьшением запаса углерода в растущей части древостоя.

Статистический анализ результатов показал, что даже в пределах одной группы возраста, рассчитанные запасы углерода сильно варьировали ($C_v = 34\text{--}61,3\%$). Столь существенное варьирование и низкая точность оценки ($11,5\text{--}29,4\%$) абсолютных запасов углерода вызваны различной продуктивностью обследованных древостоев, которая положительно связана с запасом стволовой древесины, величинами прироста и текущего отпада.

В отличие от абсолютного запаса, диапазон варьирования значений относительного запаса в пределах групп возраста был уже ($C_v = 26,9\text{--}38,7\%$), а точность оценки существенно выше ($9,1\text{--}16,6\%$) (табл. 2).

Таблица 2

Средние (для групп возраста) значения запаса углерода в резервуаре КДО и статистические оценки

Table 2

Average (for age groups) values of carbon store in the coarse woody debris pool and statistical assessments

Группа возраста	Абсолютный запас углерода в резервуаре КДО			Относительный запас углерода в резервуаре КДО		
	Среднее \pm SD, т С га ⁻¹	C_v , %	C_s , %	Среднее \pm SD, %	C_v , %	C_s , %
Молодняки	6,55 \pm 0,75	36,3	11,5	15,6 \pm 1,41	28,6	9,1
Средневозрастные	8,96 \pm 1,30	57,9	14,5	11,5 \pm 0,97	33,8	8,4
Приспевающие	10,06 \pm 2,18	61,3	21,7	11,5 \pm 1,58	38,7	13,7
Спелые	9,06 \pm 1,16	34,0	12,8	11,3 \pm 1,15	26,9	10,2
Перестойные	12,31 \pm 3,62	58,7	29,4	14,4 \pm 2,40	33,2	16,6

Примечание. SD – стандартное отклонение, C_v – коэффициент вариации, C_s – точность оценки.

В связи с этим использование данного относительного показателя для приблизительной оценки запаса углерода в резервуаре КДО малонарушенных сосняков предпочтительнее.

Корреляционный анализ показал, что наиболее сильная положительная связь наблюдается между абсолютным запасом углерода в резервуаре КДО и запасом углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя (коэффициент корреляции 0,79) (табл. 3).

Таблица 3

Корреляция запаса углерода в резервуаре КДО с таксационными показателями древостоев

Table 3

Correlation of carbon store in the coarse woody debris pool with taxation timber stand indices

Показатель	Коэффициент корреляции
Группа возраста	0,36
Класс возраста	0,39
Возраст	0,42
Запас стволовой древесины растущего древостоя, м ³ га ⁻¹	0,76
Запас углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя, т С га ⁻¹	0,79

Высокое значение коэффициента корреляции свидетельствовало о наличии между данными показателями связи близкой к линейной. С помощью регрессионного анализа установлено, что наиболее статистически достоверно зависимость между абсолютным запасом углерода в резервуаре КДО и запасом углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя описывает уравнение прямой с коэффициентом детерминации 0,63 (рис. 2).

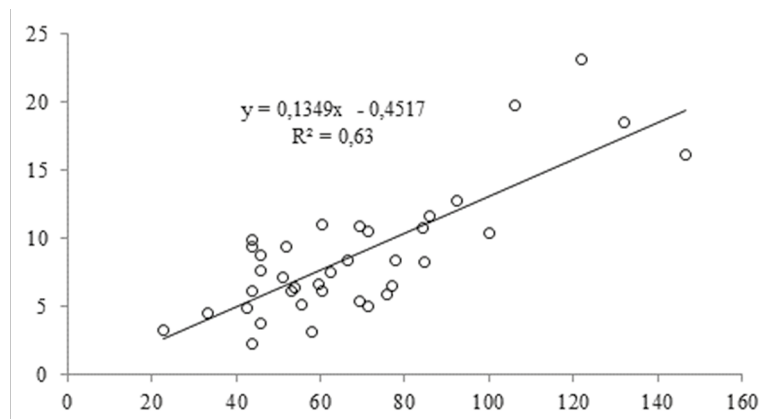


Рис. 2. Линейная модель зависимости абсолютного запаса углерода в резервуаре КДО от запаса углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя

Fig. 2. linear dependence of absolute carbon store in the coarse woody debris pool from carbon store in stem wood pool of growing timber stand

Заключение

Полученные данные по запасу углерода в резервуаре КДО в разрезе групп возраста малонарушенных сосновых лесов, равно как и регрессионная модель связи данного показателя со стволовым запасом углерода в растущей части древостоя, целесообразно использовать для расчета бюджета углерода в биологически устойчивых малонарушенных (леса заповедников, заповедные зоны национальных парков и др.) насаждениях суходольных типов леса сосновой формации Беларуси. Данный расчет может быть произведен с привлечением данных лесоустройства и лесного кадастра. Коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода позволят повысить точность оценки углеродного пула КДО при внедрении в лесоустроительную практику протоколов полевых измерений, учитывающих помимо запаса КДО, их породный состав и распределение по стадиям разложения.

Библиографические ссылки

1. Kolchugina T. A., Vinson T. S. Role of Russian forests in the global carbon balance // *Ambio*. 1995. Vol. 24, № 5. P. 258–264.
2. Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. и др. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // *Лесоведение*. 2001. № 5. С. 8–23.
3. Myneni R. B., Dong J., Tucker C. J., et al. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2001. Vol. 98, No. 26. P. 14784–14789.
4. Apps M. J., Kurz W. A., Luxmoore W. A., et al. Boreal forests and Tundra // *Water, Air and Soil Pollution*. 1993. Vol. 70. P. 39–53.
5. Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems // *Science*. 1994. Vol. 263. P. 185–190.
6. Schlesinger W. H. *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change*. San Diego: Academic Press, 1997.
7. Krankina O. N., Harmon M. E. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests // *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 82. P. 227–238.
8. Yatskov M. A., Harmon M. E., Krankina O. N. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia // *Canad. J. of Forest Research*. 2003. Vol. 33. P. 1211–1226.
9. Manies K. L., Harden J. W., Bond-Lamberty B. P., et al. Woody debris along an upland chronosequence in Boreal Manitoba and its impact on long-term carbon storage // *Canad. J. of Forest Research*. 2005. Vol. 35. P. 472–482.
10. Knohl A., Kolle O., Minayeva T. Y., et al. Carbon dioxide exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw // *Global Change Biology*. 2002. Vol. 8. P. 231–246.
11. Wang C. K., Bond-Lamberty B., Gower S. T. Environmental controls on carbon dioxide flux from black spruce coarse woody debris. 2002. Vol. 132. P. 374–381.
12. Стороженко В. Г. Датировка разложения валежа ели // *Экология*. 1990. № 6. С. 66–69.
13. Стороженко В. Г. Датировка разложения крупных древесных остатков в лесах различных природных зон // *Лесоведение*. 2001. № 1. С. 49–53.
14. Стороженко В. Г., Шорохова Е. В. Биогеоценоотические и ксилотитические параметры устойчивых таежных ельников // *Грибные сообщества лесных экосистем*. Т. 3. М. : Петрозаводск, 2012.
15. Post W. M., Emanuel W. R., Zinke P. J., et al. Soil carbon pools and world life zones // *Nature (London)*. 1982. Vol. 298. P. 156–159.
16. Kasischke E. S. Boreal ecosystems in the global carbon cycle // *Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest*. New York : Springer-Verlag, 2000. P. 19–30.
17. Guo L. B., Bek E., Gifford R. M. Woody debris in a 16-year old *Pinus radiata* plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 228. P. 145–151.
18. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] / Организация Объединенных Наций. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 26.04.2016).
19. Парижское соглашение [Электронный ресурс] / UN Climate Change. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (дата обращения: 26.04.2016).
20. Стороженко В. Г. Показатели древесного отпада в коренных ельниках таежной зоны Русской равнины // *Грибные сообщества лесных экосистем*. Т. 2. / под ред. В. Г. Стороженко, В. И. Крутова. М. : Петрозаводск, 2004.
21. Стороженко В. Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М., 2011.
22. Пугачевский А. В., Жданович С. А. Запасы, размерная структура и степень разложения древесных остатков в некоторых типах сосновых, еловых и березовых лесов // *Труды БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во*. Минск, 2007. Вып. 15. С. 366–370.
23. Апостолов С. А., Бабаи С. Е., Белкина Е. И. и др. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ: ч. 2. СПб., 2005; 2007.
24. Федоров Н. И., Пауль Э. Э. *Древесиноведение и лесоматериалы : практикум*. Минск, 2006.
25. Тарасов М. Е. Методические подходы к определению скорости разложения древесного детрита // *Лесоведение*. 2002. № 5. С. 32–37.
26. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama : Institute for Global Environmental Strategies, 2003.
27. Жданович С. А., Пугачевский А. В. Топливо-энергетическая характеристика крупного древесного детрита различной степени разложения в лесах Беларуси // *Лесное и охотничье хозяйство*. 2010. № 4. С. 21–25.
28. Лакин Г. Ф. *Биометрия*. М., 1990.

References

1. Kolchugina T. P., Vinson T. S. Role of Russian Forests in the Global Carbon Balance. *Ambio*. 1995. Vol. 24, No. 5. P. 258–264.
2. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnykh O. V., et al. Russian forests as reservoir of organic carbon of biosphere. *Silvics*. 2001. No. 5. P. 8–23 (in Russ.).
3. Myneni R. B., Dong J., Tucker C. J., et al. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2001. Vol. 98, No. 26. P. 14784–14789.
4. Apps M. J., Kurz W. A., Luxmoore W. A., et al. Boreal forests and Tundra. *Water, Air and Soil Pollut.* 1993. Vol. 70. P. 39–53.
5. Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Sci*. 1994. Vol. 263. P. 185–190.
6. Schlesinger W. H. *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change*. San Diego, Academic Press, 1997.
7. Krankina O. N., Harmon M. E. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests. *Water, Air and Soil Pollut.* 1995. Vol. 82. P. 227–238.
8. Yatskov M. A., Harmon M. E., Krankina O. N. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Canad. J. of Forest Research*. 2003. Vol. 33. P. 1211–1226.

9. Manies K. L., Harden J. W., Bond-Lamberty B. P., et al. Woody debris along an upland chronosequence in Boreal Manitoba and its impact on long-term carbon storage. *Canad. J. of Forest Research*. 2005. Vol. 35. P. 472–482.
10. Knohl A., Kolle O., Minayeva T. Y., et al. Carbon dioxide exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw. *Glob. Change Biol.* 2002. Vol. 8. P. 231–246.
11. Wang C. K., Bond-Lamberty B., Gower S. T. Environmental controls on carbon dioxide flux from black spruce coarse woody debris. *Ecol.* 2002. Vol. 132. P. 374–381.
12. Storozhenko V. G. Dating of decay of spruce logs. *Ecol.* 1990. No. 6. P. 66–69 (in Russ.).
13. Storozhenko V. G. Dating of decay of coarse woody debris in forests of different nature zones. *Silvics*. 2001. No. 1. P. 49–53 (in Russ.).
14. Storozhenko V. G., Shorokhova E. V. Biogeocenological and xylolitical parameters of suitable taiga spruce forests. *Fungi communit. of forest ecosys.*, Vol. 3. Moscow; Petrozavodsk, 2012 (in Russ.).
15. Post W. M., Emanuel W. R., Zinke P. J., et al. Soil carbon pools and world life zones. *Nature (London)*. 1982. Vol. 298. P. 156–159.
16. Kasischke E. S. Boreal ecosystems in the global carbon cycle. *Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest*. New York, Springer-Verlag, 2000. P. 19–30.
17. Guo L. B., Bek E., Gifford R. M. Woody debris in a 16-year old *Pinus radiata* plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover. *Forest Ecol. and Manag.* 2006. Vol. 228. P. 145–151.
18. Framework Convention on Climate Change, UN FCCC. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (date of access: 26.04.2016).
19. Paris agreement. Available at: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (date of access: 26.04.2016).
20. Storozhenko V. G. Indices of woody debris in taiga zone native spruce forests of the Russian flat land. *Fungi commun. of forest ecosys.* 2004. Vol. 2. P. 221–239 (in Russ.).
21. Storozhenko V. G. Woody debris in native forests of the Russian flat land. Moscow, 2011.
22. Pugachevskiy A. V., Zhdanovich S. A. Stores, size structure and decay level of coarse woody debris in some types of pine, spruce and birch forests. *Proceedings of BSTU*, 2007, Ser. I. Forestry, issue 15. P. 366–370 (in Russ.).
23. Apostolov S. A., Balash S. E., Belkina E. I., et al. New guide of chemist and technologist. Raw material and products of industry of organic and inorganic matter. Part 2. Sankt.-Petersburg, 2005, 2007 (in Russ.).
24. Fedorov N. I., Paul' E. E. Wood science and timbering. Practical book. Minsk, 2006 (in Russ.).
25. Tarasov M. E. Methodological approaches in estimation of decay rate of woody detritus. *Silvics*. 2002. No. 5. P. 32–37 (in Russ.).
26. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama : Institute for Global Environmental Strategies, 2003. 590 p.
27. Zhdanovich S. A., Pugachevskiy A. V. Fuel and energy features of coarse woody detritus on different decay stages in Byelorussian forests. *Forestry and hunting service*. 2010. No. 4. P. 21–25 (in Russ.).
28. Lakin G. F. Biometry. Moscow, 1990 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 01.06.2017
Received by editorial board 01.06.2017

УДК 620.98

КОНЦЕПЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЕРИВАЦИОННЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЕ

С. К. ТУРУСБЕКОВ¹⁾

¹⁾Международный университет Кыргызстана,
пр. Чуй, 255, 720001, г. Бишкек, Кыргызстан

Рассматривается гидроэнергетический потенциал малых рек Иссык-Кульского бассейна и концепция его использования для энергоснабжения местных потребителей, санаториев, пансионатов и фермерских хозяйств.

Ключевые слова: энергообеспечение; гидроэнергетические ресурсы; малые ГЭС (МГЭС); речной сток; деривационные сооружения.

THE CONCEPT OF CONSTRUCTION OF DIVERSION HYDROPOWER PLANTS IN THE ISSYK-KUL BASIN

S. K. TURUSBEKOV^a

^aInternational University of Kyrgyzstan,
Chui avenue, 225, 700001, Bishkek, Kyrgyzstan

The article considers the hydropower potential of small rivers of the Issyk-Kul basin and the concept of its use for energy supply to local consumers, sanatoriums, boarding houses and farms.

Key words: energy supply; hydropower resources; small hydropower plants (SHPP); river runoff; diversion.

Введение

Республика Кыргызстан располагает значительным гидроэнергетическим потенциалом малых рек и водотоков, ирригационных каналов и водохранилищ, ускорение освоения которых путем сооружения на них малых и средних ГЭС будет способствовать решению локальных проблем энергоснабжения. Строительство деривационных ГЭС оправдывается и тем, что они не затапливают территории, крайне необходимые для сельскохозяйственного использования. Сейчас под крупными водохранилищами осталось 44803 га наиболее удобных и ценных в хозяйственном отношении пойменных земель, которые могли бы давать ежегодно урожай для обеспечения продовольственной безопасности государства. Необходимость привлечения гидроэнергетического потенциала рек Иссык-Кульского бассейна продиктована нехваткой электроэнергии для решения многих экологических задач по ресурсосбережению: возможности уменьшения вырубки различных видов лесных массивов для получения энергии [1].

В решении проблем по возведению энергетических объектов необходим комплексный подход, который требует всестороннего учета затрат не только связанных с их сооружением, но и таких различных

Образец цитирования:

Турсубеков С. К. Концепция строительства деривационных гидроэлектростанций в Иссык-Кульской котловине // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 109–114.

For citation:

Turusbekov S. K. The concept of construction of diversion hydropower plants in the Issyk-Kul basin. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 109–114 (in Russ.).

Автор:

Сагындык Калыбекович Турсубеков – кандидат сельскохозяйственных наук; докторант БНТУ, главный научный сотрудник отдела Высшей школы докторантуры.

Author:

Sagyndyk K. Turusbekov – PhD (agriculture); doctoral student of BNTU, chief researcher of the Higher school of doctoral studies.
sagun2004@mail.ru, kundas@tut.by

воздействий на экологическую систему прилегающих к ним территорий как при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива на ТЭС, а также работах при возведении ГЭС.

Дополнительная экономия топливных ресурсов от эксплуатации намечаемых к строительству малых и средних ГЭС на реках и водохранилищах составит 450 тыс. т условного топлива в год [1].

Однако в процессе непрерывной эксплуатации ТЭС происходит прямое воздействие на здоровье населения (и производительность труда), загрязнение воздушного бассейна, деградация почв, уничтожение фауны и флоры. Исследования энергетического потенциала Кыргызстана свидетельствуют, что при небольших капитальных затратах в кратчайшие сроки на горных реках можно построить несколько десятков перспективных деривационных ГЭС [3].

Сооружение деривационных гидроэлектростанций целесообразно в горных условиях при больших уклонах и относительно малых расходах воды. В этом случае при небольшой протяженности и малой площади сечения деривационного водовода можно получить большой напор (до 1000 м и более) и, соответственно, большую мощность. Для характеристики гидроэнергетических ресурсов важное значение придается распределению речного стока во времени и по территории. У горных рек, отличающихся большими уклонами, изменения мощности во времени полностью идентичны изменениям водности. Поэтому эти изменения вполне могут характеризоваться показателями изменчивости водности рек.

Материалы и методы исследования

В настоящее время накоплен достаточно большой исходный материал для детальных гидрологических разработок, позволяющий расширить возможность расчета стока небольших рек на неизученных водосборах, имеющих в бассейне оз. Иссык-Куль. Одним из распространенных методов является построение зависимостей модуля (слоя) стока от высотных характеристик. В последнее время появилась возможность использования достоверной космической информации. На основе детального анализа гидрологической обстановки территорий в различных орографических районах необходимо уточнить различные параметры (минимальные площади водосборов рек, минимальные расходы воды, а также длины и уклоны рек). Это позволит уточнить потенциальные гидроэнергетические ресурсы (далее – ГЭР) и выделить реки для соответствующих расчетов.

Для характеристики гидроэнергетических ресурсов важное значение придается их распределению во времени и по территории. Кроме этого, необходимость разработок по уточнению ГЭР водных источников связана с актуальностью обновления базовых данных по стоку рек.

Гидроэнергетические ресурсы рек бассейна оз. Иссык-Куль позволяют реализовать строительство и восстановление малых ГЭС (далее – МГЭС). Удельная потенциальная мощность рек бассейна оз. Иссык-Куль составляет 500 кВт на 1 км² с возможной выработкой электроэнергии 17389,9 млн кВтч. (табл.1).

Таблица 1

Гидрологические характеристики и гидроэнергетический потенциал малых рек Иссык-Кульской области

Table 1

Hydrological characteristics and hydropower potential of small rivers of Issyk-Kul region

Наименование реки	Средний расход, м ³ /с	Общая мощность, тыс. кВтч	Вырабатываемая энергия, млн кВтч
Джергалан	21,9	73,2	641,6
Турген-Ак-Суу	6,5	57,0	499,5
Ак-Суу	5,7	48,8	427,7
Каракол	6,8	47,3	413,8
Джети-Огуз	5,8	36,4	318,9
Джууку	6,2	30,4	266,3
Ак-Сай	2,9	19,4	169,7
Ак-Терек	4,4	23,0	245,4
Туура-Суу	3,0	24,0	210,4
Чон-Ак-Суу	5,1	45,5	398,4

Окончание табл. 1

Ending table 1

Наименование реки	Средний расход, м ³ /с	Общая мощность, тыс. кВтч	Вырабатываемая энергия, млн кВтч
Чу	28,5	163,4	1422,0
Тюп	8,5	85,9	752,4
Сары-Джаз	30,8	987,2	8447,8
Куйлю	10,6	53,6	466,0
Энилчек	28,1	194,2	1701,2
Ак-Шыйрак	12,1	116,3	1018,8
Всего		2005,6	17389,9

Развитие экономики этого региона свидетельствует, что потребность в электроэнергии будет возрастать. При отсутствии других источников электроэнергии объемы могут быть обеспечены за счет строительства электростанций. Следует отметить, что МГЭС работают в автоматическом режиме. При возведении каждого объекта в течение 1,5–2 лет на строительных работах будет задействовано более 100 чел. [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время спрос на электроэнергию в анализируемом регионе превышает предложение, и эта тенденция будет нарастать с каждым годом (развитие перерабатывающей отрасли, рост населения, введение энергоемких отраслей). Как уже отмечалось, строительство МГЭС позволит покрыть дополнительное электропотребление. Строительство МГЭС не требует больших капитальных вложений по сравнению с крупными ГЭС и тепловыми станциями. При строительстве МГЭС не производится отчуждение ценных сельскохозяйственных земель. Производство электроэнергии на МГЭС является экологически чистым процессом без выбросов в атмосферу, землю и реку загрязняющих веществ. Сооружения строятся в районах с минимальным нарушением естественного ландшафта. Весь объем воды, изъятый для получения электроэнергии, возвращается в русло реки с неизменным объемом и качеством. Получаемая электроэнергия обеспечит улучшение электроснабжения, жилищных условий потребителей, в отдельных случаях отопление и снабжение горячей водой за счет электроэнергии. Эксплуатация МГЭС позволит несколько снизить уровень безработицы. Работающие на МГЭС на постоянной основе при круглогодичном заработке улучшат материальное благополучие около 20 семей, в условиях Иссык-Куля семья состоит в среднем из 5–7 чел. [3].

Обычно падение уровня водотока более или менее равномерно распределяется по его длине. Лишь в немногих местах имеются значительные перепады уровней, сосредоточенные на небольшом участке русла (водопады). Такие участки являются наиболее перспективными для строительства МГЭС. В условиях дефицита земельных ресурсов наиболее приемлема деривационная схема, позволяющая получить сосредоточенный перепад путем отвода воды из естественного русла по искусственному водоводу, имеющему меньший продольный уклон. Благодаря этому уровень воды в конце водовода оказывается выше уровня воды в реке – эта разность уровней и является напором гидроэлектростанции. В зависимости от типа искусственных водоводов (деривации) различают гидроэлектростанции с безнапорной и с напорной деривацией. При безнапорной деривации отвод воды из реки осуществляется безнапорными водоводами, например, открытым каналом. Для забора воды в деривационный канал в русле реки возводится невысокая плотина, создающая водохранилище. Деривационный канал заканчивается напорным бассейном, из которого вода по трубопроводам подается к турбинам в здание станции. Прошедшая через турбины вода отводится обратно в русло реки по отводящему каналу.

Деривационный канал служит для транспортировки воды от водозаборного сооружения к напорному бассейну. Канал может выполняться в земляном русле с уклоном 0,001...0,002 (1...2 м высоты на 1000 м длины канала) для того, чтобы он не размывался, а в холодный период года не замерзал. Экономически целесообразная длина деривационного канала – 200...400 м.

Полнота исходной информации о речном стоке и его формировании в значительной степени определяет точность водноэнергетических и водохозяйственных расчетов. Иссык-Кульский регион обладает очень разнообразными природными условиями, оказывающими влияние на формирование речного стока.

Одним из основных факторов, формирующих сток, являются осадки, выпадающие по территории и по времени крайне неравномерно. Например, в Западной части Иссык-Кульской впадины осадков выпадает до 120 мм/год, тогда как в восточной части годовое количество осадков доходит до 600–800 мм. Наблюдается преобладание летних осадков над зимними.

Для рек Иссык-Кульского бассейна продолжительность ряда наблюдений составляет 60–80 лет. В расчетном ряду встречаются сочетания многоводных и маловодных по стоку лет.

Расход воды в реках уменьшается в зимний период (январь – март) и увеличивается в летний период (июнь – август). Сезонное колебание осадков и расхода воды в реках сильно отличаются друг от друга. Удельный расход воды в зимний период для основных рек составляет 0,5–0,6 м³/с [3].

При современных технологиях использования водного потока для МГЭС основным условием является расчет минимального стока за определенный интервал времени. Минимальный месячный сток на реках Иссык-Кульского бассейна наблюдается в марте, на высокогорных реках в апреле. Основным источником формирования речного стока в этот период являются различного типа подземные воды. Преобладающим фактором накопления и расходования подземных вод выступают климатические условия. Большое значение также имеют широко распространенные динамические грунтовые воды, сосредоточенные в отложениях древних морен и русловых частях речных долин. Колебания минимального стока при его незначительных расходах здесь полностью зависят от русловых потерь в аллювиальных отложениях, отличающихся высокой фильтрацией. В целом механизм формирования минимального стока весьма сложный и поэтому необходимо проводить детальные гидрологические и гидрогеологические изыскания для конкретного водосбора реки, где планируется строительство МГЭС.

Реки Иссык-Кульской котловины начинаются с крутых склонов хребтов Тескей и Кунгей Ала-Тоо и протекают через множество горных долин и конусов выноса, формирующих приозерную равнину. Возможные стройплощадки МГЭС целесообразно размещать в полосе расположенной выше конусов выноса (2000 и более над уровнем моря) и ниже высоты 2200 м, с учетом наличия дорог и других топографических и геологических условий вдоль рек.

По предварительным оценкам [4], на основании линейного учета в бассейне оз. Иссык-Куль отсутствуют реки, способные вырабатывать энергию свыше 1 млрд кВт·ч/год. В последнее время в Кыргызстане, особенно в сельских местностях, часто производят плановые отключения электроэнергии из-за ее нехватки. Поскольку объем спроса на электроэнергию в регионах, в отношении которых производят плановое отключение, равняется объему дефицита электроэнергии, новые МГЭС, подключенные к электросети, позволят сокращать зону и/или продолжительность отключения. От строительства МГЭС, часто даже в период, когда не происходит дефицит поставок электроэнергии, увеличение генерирующих мощностей приводит к улучшению работы электроэнергетической системы, в частности, к устойчивости системы распределения электроэнергии, в том числе и стабилизации напряжения и частоты; уменьшению потребления топлива (уголь, мазут); сокращению выбросов CO² и др.; увеличению экспорта электроэнергии.

Перспективы развития гидроэнергетики в Иссык-Кульской котловине. Согласно выполненным в КНТЦ «Энергия» сменным проработкам, намеченных к проектированию и строительству мини-ГЭС в Иссык-Кульской области, предполагается строительство 12 малых ГЭС с суммарной установленной мощностью до 30 МВт и среднегодовой выработкой 150 млн кВт·ч [4].

Энергетические показатели станций приняты из условия выработки ими электроэнергии при удельных капиталовложениях в 1 киловатт установленной мощности в размере 1000 дол. США. В случае необходимости покрытия пиковых нагрузок вводится дополнительная плата за заявленную потребителем мощность, что подтверждается опытом работы зарубежных станций подобного типа. Расходы (для примера) на МГЭС с установленной мощностью 3600 кВт, при расходах – 3,4 м³/с при напоре 120 м, составляет 4 млн дол. США. Срок окупаемости со среднегодовой выработкой 24 млн кВт·ч электроэнергии при цене электроэнергии 4 цента США за 1 кВт·ч составит 6–7 лет [3].

Удельные капиталовложения в 1 киловатт установленной мощности для разных станций находятся в диапазоне 700–900 дол. США на базе российского оборудования и 1000–1200 дол. США на базе оборудования стран дальнего зарубежья.

Из 12 МГЭС (табл. 2), предлагаемых к новому строительству, наиболее перспективными являются 8 станций общей мощностью до 20 МВт и среднегодовой выработкой до 100 млн кВт·ч, том числе:

- Чон-Аксуу (река Чон-Аксуу) – 10 МВт,
- Акбулун № 1 и № 2 (река Тургенъ-Аксуу) – 1200 кВт и 1350 кВт,
- Дархан (река Джууку) – 640 кВт,
- Куйлюйская (река Куйлю) – 1910 кВт,
- Турасу (река Турасу) – 500 кВт,

- Тамга (река Барскоон) – 2000 кВт,
- Чон-Сары-Ой (река Орто-Койсу) – 1600 кВт.

Таблица 2

Планы строительства новых малых и средних ГЭС по Иссык-Кульской области

Table 2

Plans to build a new small and medium HPPs in the Issyk-Kul region

№	Наименование ГЭС	Установленная мощность, Мвт	Необходимые мероприятия
1	Чон-Аксуйская	10,0	ТЭО, проектирование, строительство
2	Энилчекская	2,0	ТЭО, проектирование, строительство
3	Ак-Сайская	1,2	ТЭО, проектирование, строительство
4	Ак-Тилекская	1,2	ТЭО, проектирование, строительство
5	Акбулун-1	1,2	ТЭО, проектирование, строительство
6	Акбулун-2	1,35	ТЭО, проектирование, строительство
7	Дархан	1,2	ТЭО, проектирование, строительство
8	Куйлюйская	1,9	ТЭО, проектирование, строительство
9	Турасу	0,5	ТЭО, проектирование, строительство
10	Тамга	2,0	ТЭО, проектирование, строительство
11	Чон-Сары-Ой	1,6	ТЭО, проектирование, строительство
12	Территория около Балыкчы	22,0	Строительство ветряной электростанции

К числу первоочередных ГЭС, предусмотренных к строительству, относится Орто-Токойская электростанция мощностью 21 МВт при ирригационном водохранилище на реке Чу (по ней имеется технико-экономическое обоснование, выполненное в 1997 г. японскими консультантами; данные находятся в КНТЦ «Энергия»). Стоимость строительства по оценке составляла 25 млн дол. США (табл. 3).

Для привлечения инвесторов необходимо разработать технико-экономические обоснования мероприятий по развитию малой гидроэнергетики с отражением в них вышеизложенных вариантов финансирования.

Таблица 3

Строительство малых ГЭС на существующих гидротехнических сооружениях

Table 3

Construction of small HPPs on existing hydrotechnical facilities

№	Наименование ГЭС	Установленная мощность, Мвт	Необходимые мероприятия
1	Орто-Токойская	20,0	ТЭО, проектирование, строительство

На основании Указа Президента Кыргызской Республики вышло постановление Иссык-Кульской областной государственной администрации № 260 от 31.10.2008 г. «О реализации Указа Президента КР № 365 от 14.10.2008 г. «О конкретных мерах по развитию малой и средней энергетики в КР», где утвержден План первоочередного строительства и реконструкции объектов малой и средней энергетики до 2012 г. по Иссык-Кульской области. При этом дано задание главам Иссык-Кульского, Ак-Суйского, Тонского, Джети-Огузского районной государственной администраций, мэрам городов Каракол, Балыкчы:

- принять меры по оказанию помощи Дирекции проекта по развитию малой и средней энергетики в КР по строительству новых и восстановлению ранее существовавших объектов малой и средней энергетики в Иссык-Кульской области;
- произвести отвод земельных участков для строительства новых объектов малой и средней энергетики.

На территории Орто-Токойского водохранилища МГЭС на 750 кВтч, и 100 кВтч были построены в 50-е годы и эксплуатировались до 1964 г. с целью обеспечения энергией стройку водохранилища,

временный поселок строителей и вспомогательные службы. С 1965 г. ГЭС не работала в связи с электрификацией строительства от государственной электрической сети.

Таблица 4

Восстановление ранее существовавших ГЭС

Table 4

Reconstruction of pre-existing HPPs

№	Наименование ГЭС	Установленная мощность, Мвт	Необходимые мероприятия
1	Арашанская	1,2	Восстановление, модернизация

Также ОсОО «Идеал Тур» проявляет заинтересованность в строительстве Арашанской ГЭС Ак-Суйского района на реке Арашан (табл. 4). Но пока не определены конкретные действия со стороны ОсОО «Идеал Тур» и не определены финансовые источники. Кроме этого, в настоящее время ведется строительство Тонской МГЭС в с. Торткуль Тонского района на реке Тон мощностью 100-600 кВт·ч за счет собственных средств ЧП Чотоева Камчыбека, общей стоимостью 30,0 тыс. дол. США. А также прорабатывается вопрос о строительстве Джети-Огузского МГЭС на реке Джети-Огуз ЧП Дубанаевым Садырбеком мощностью 1500 кВт·ч, общей сметной стоимостью 50,0 млн сомов за счет иностранных инвестиций.

Заключение

Таким образом, дополнительное электроснабжение в Иссык-Кульской котловине может быть обеспечено путем строительства гидроэлектростанций небольшой мощности, потребляющих энергетический потенциал малых рек и водотоков. Подобные электростанции могут быть использованы для электроснабжения населенных пунктов, сельскохозяйственных предприятий, фермерских и крестьянских хозяйств, мелких предприятий и т. д. Строительство и реконструкция МГЭС дает возможность совершенствования системы энергообеспечения потребителей Иссык-Кульской котловины, улучшения условий жизни населения, развития инфраструктуры, получения прибыли путем эффективной эксплуатации энергообеспечения.

Библиографические ссылки

1. Атлас Киргизской ССР. ГУГК при СМ СССР. М., 1975. Т. 1.
2. *Карамолдоев Ж. Ж.* Формирование стока рек Кыргызстана в маловодный период и его рациональное использование. Бишкек, 2002.
3. Программа и план действий по адаптации климата сектора «Лес и биоразнообразии» на 2015–2017 гг. Бишкек, 2015.
4. Первое Национальное сообщение Кыргызской Республики по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Бишкек, 2003.

References

1. The Atlas of Kirgis SSR, Directorate General for Geodesy and Cartography at Soviet of Ministers, USSR. Moscow. 1975. Vol.1.
2. Karamoldoev Zh. Zh. Run-off formation of Kyrgyzstan rivers in low-flow period and its rational use. Printing House of the President of Kyrgyz Republic. Bishkek. 2002.
3. Program and plan of actions for climate adaptation for 2015–2017. Bishkek, 2015.
4. First National Communication of the Kyrgyz Republic under the UN Framework Convention on Climate Change. Bishkek, 2003.

*Статья поступила в редакцию 02.06.2017
Received by editorial board 02.06.2017*

УДК 66.021+66.048.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ФОСФОГИПСОВОГО ОТВАЛА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Е. Ю. ЧЕРНЫШ¹⁾, Л. Д. ПЛЯЦУК¹⁾

¹⁾Сумский государственный университет,
ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина

Определены основные факторы влияния на процесс миграции в окружающей среде тяжелых металлов из массива фосфогипсовых отвалов. Осуществлено математическое моделирование и описание показателя поступления запасов свинца (ЧЗ_{рв}) из массива в толщу почвы. Полученная формализация позволяет исследовать динамические характеристики, с помощью которых можно выявить основные зависимости, определяющие глубину миграции тяжелых металлов из массива фосфогипсовых отвалов. По экспериментальным и расчетным данным был построен график эволюции глубины залегания «центра масс» вертикального распределения свинца в почве. Результаты исследования свидетельствуют о достаточно медленном смещении концентрации свинца вглубь почвенного профиля, что может быть вызвано влиянием ряда факторов на вертикальную миграцию этого элемента, в частности, на его трансформацию в экосистеме собственно буферных свойств почвенного комплекса и поступления металла из фосфогипсового отвала в малорастворимой форме. В работе получено значение коэффициента направленного переноса $w = 0,19$ см / год, что на примере свинца соответствует расчетному значению ЧЗ.

Ключевые слова: глубина миграции; тяжелые металлы; фосфогипсовые отвалы; моделирование.

MATHEMATICAL MODELING OF THE MIGRATION PROCESS OF COMPONENTS OF PHOSPHOGYPSE DUMP IN THE ENVIRONMENT

YE. YU. CHERNYSH^a, L. D. PLYATSUK^a

^aSumy State University,
Rymkogo-Korsakova street, 2, 40007, Sumy, Ukraine
Corresponding author: l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua

The paper focused on identifies the main factors influencing the process of heavy metals migration in the environment from an array of phosphogypsum dumps. The mathematical modeling and description of the arrival of the stocks of plumbum from the dump into the soil were carried out. The graph of the evolution of the depth of occurrence of the "center of mass" of the vertical distribution of plumbum in the soil was presented according to the experimental and calculated data. The results of the investigation indicated a fairly slow shift in the plumbum concentration deep into the soil profile. It can be caused by the influence of several factors on the vertical migration of this element. In particular, the influence on its transformation in the ecosystem of the buffer properties of the soil complex and

Образец цитирования:

Черныш Е. Ю., Пляцук Л. Д. Математическое моделирование процесса миграции компонентов фосфогипсового отвала в окружающей среде // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 115–120.

For citation:

Chernysh Ye. Yu., Plyatsuk L. D. Mathematical modeling of the migration process of components of phosphogypse dump in the environment. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 115–120 (in Russ.).

Авторы:

Елизавета Юрьевна Черныш – кандидат технических наук; докторант кафедры прикладной экологии.
Леонид Дмитриевич Пляцук – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой прикладной экологии.

Authors:

Yelizaveta Yu. Chernysh, PhD (engineering); doctoral student of the department of applied ecology.
e.chernish@ssu.edu.ua
Leonid D. Plyatsuk, doctor of sciences (engineering), professor; head of the department of applied ecology.
l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua

include of metal from phosphogypsum dump in poorly soluble form. The value of the directional transfer coefficient $w = 0,19 \text{ cm / year}$ was obtained in the work, which corresponds to the calculated value of the stocks of plumbum.

Key words: migration depth; heavy metals; phosphogypsum dumps; modeling.

Введение

На сегодняшний день исследование проблематики накопления отходов химической промышленности в окружающей среде занимает ведущее место в мире. Существуют стандартные международные методики оценки рисков потенциального использования фосфогипса, содержащего радиоактивные элементы и соответствующая оценка рисков при его складировании, где присутствует описание путей поступления радиоактивных элементов из фосфогипса, приведены расчетные формулы по их миграции с грунтовыми водами в поверхностные водные объекты и оценка влияния на продолжительность жизни населения региона [1–3]. Однако они не направлены на оценку и анализ миграционных потоков тяжелых металлов и биогенных веществ с отвалов, что также является актуальным при складировании фосфогипса с радиационным загрязнением фонового характера, но при этом имеющего в своем составе ряд соединений с тяжелыми металлами (кадмием, свинцом и т. д.). Соответственно, первоочередное значение имеет разработка системной методики по анализу глубины миграции тяжелых металлов в сопредельные к отвалу компоненты окружающей среды.

На базе СумГУ проводился многолетний мониторинг фосфогипсовых отвалов ПАО «Сумыхимпром» и прилегающих территорий для выявления закономерностей влияния состава фосфогипса разных периодов складирования, изменения его химического и физического состояния, состояния загрязнения почв элементами-примесями, содержащимися в фосфогипсе, и в первую очередь такими тяжелыми металлами, как свинец и кадмий, примеси которых поступают из природного сырья при переработке фосфоритов. По результатам мониторинга было выявлено, что повышение валового содержания подвижных форм свинца и кадмия в зоне влияния отвалов фосфогипса, не достигло критических значений и не превышает ПДК, хотя является выше фоновой для этого региона [4]. Однако данная негативная тенденция в будущем может иметь нежелательные последствия, поскольку буферные и аккумулирующие свойства почвы лимитированы. При превышении порогов устойчивости грунтово-биотической системы происходит загрязнение тяжелыми металлами подземных и поверхностных вод, растениеводческая продукция становится непригодной для потребления, что приведет к снижению показателей здоровья и качества жизни населения.

Следует отметить, что моделирование процесса миграции токсичных составляющих фосфогипса с массы их отвалов является определяющей прогностической задачей для разработки эффективных мер снижения негативного техногенного воздействия на компоненты экосистемы в местах складирования этих отходов. Системная математическая формализация должна содержать прогностическую функцию, что коррелируется с разной степенью вероятности наступления неблагоприятных событий – миграции поллютантов в водоносный слой, а далее – в поверхностные водные объекты или вероятности попадания и аккумуляции в сельскохозяйственных культурах, растущих вблизи места складирования фосфогипса. При этом в процессе математической формализации необходимо учитывать составляющие функции, описывающие скорость высвобождения элементов, путь поступления, среду поглощения и т. п.

Таким образом, цель работы – моделирование процесса миграции компонентов из тела фосфогипсового массива.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработка математической модели процесса миграции тяжелых металлов. В исследовании остановимся на формализации интегрированной функции, которая может проявлять качественные и количественные характеристики процесса миграции загрязняющих веществ (тяжелых металлов) с фосфогипсовых отвалов к первому водоносному горизонту и с грунтовыми водами их дальнейшее поступление в поверхностный водный сток. Описание ее осуществим через расчет доли поступления запасов тяжелых металлов ($ЧЗ_{Me}$) на определенную глубину почвенно-грунтового профиля за год (м / год или см / год) с фосфогипсовых отвалов следующим образом:

- при начальном условии $t_1 - t_0 < t < t_1$

$$ЧЗ_{Me} = \left[1 - \exp[-\gamma_L (t - (t_1 - t_0))] \right] \cdot \left(\frac{v_E \cdot F_h \cdot l}{L \cdot R \cdot y_L} \right) \cdot 365 \alpha_{\text{биокс}} , \quad (1)$$

- при начальном условии $t_1 \leq t$

$$ЧЗ_{Me} = [-\gamma_L \cdot (t - t_1)] [1 - \exp(-\gamma_L \cdot t_0)] \cdot \left(\frac{v_B \cdot F_h \cdot l}{L \cdot R \cdot \gamma_L} \right) \cdot 365 \alpha_{\text{биокс}}, \quad (2)$$

где t – время мониторинга (год);

t_0 – время вымывания компонентов (тяжелых металлов), содержащихся в фосфогипсе, в грунтовые воды (год);

t_1 – отрезок времени, за который могут поступить тяжелые металлы вместе с грунтовыми водами в водный объект (год);

F_h – поправочный коэффициент для дисперсии;

γ_L – доля растворимых форм тяжелых металлов из общего их объема (в год);

L – длина отвала отходов в направлении, параллельном водоносному потоку (м);

v_B – горизонтальная составляющая скорости движения грунтовых вод (м / год);

l – глубина залегания грунтовых вод (м);

R – коэффициент удержания;

$\alpha_{\text{биокс}}$ – коэффициент, учитывающий биотическую составляющую почвы в процессе биоокисления и биотрансформации компонентов фосфогипса в процессе минерализации и гумификации органического субстрата. Это находим по формуле, сут⁻¹:

$$\alpha_{\text{биокс}} = \frac{\mu_m \cdot S_{\text{орг}}}{K_S + S_{\text{орг}}} \cdot k_T, \quad (3)$$

где μ_m – максимальная удельная скорость роста почвенных групп микроорганизмов-индикаторов глубины минерализации органического субстрата в почве (сут⁻¹);

$S_{\text{орг}}$ – суммарная концентрация субстрата (г/см³);

K_S – константа насыщения по субстрату (г/см³);

k_T – поправочный коэффициент.

Температурный режим почв детерминирует развитие микроорганизмов и их активность. Поэтому в формулу был внесен поправочный коэффициент (k_T) как функции показателя теплопроводности, определяющейся по времени, в течение которого грунт нагревается на глубину 1 см.

Введение коэффициента $\alpha_{\text{биокс}}$ позволяет обосновать процесс естественного биохимического выщелачивания, что влияет на пути миграции основных видов загрязняющих и биогенных веществ с отвалов. Так, в процессе полевых исследований было определено [5], что открытые участки отвала фосфогипса выступают субстратом для поселения на их поверхности, в первую очередь, водорослей и мхов, а уже в дальнейшем (постепенно) высшей травянистой растительности. Этому способствует значительная влагоемкость фосфогипса, достаточное количество остаточного фосфора, серы, кальция и других веществ, выделяющихся в виде макро- и микроэлементов. Учитывая, что на корневых системах всегда присутствуют ризосферные микроорганизмы, было сделано предположение, что фосфогипс может быть минеральным субстратом для развития различных эколого-трофических групп микроорганизмов.

При этом, исходя из свойств водоносного горизонта (его мощности, плотности и пористости водоносных пород и т. п.) [1], t_0 и t_1 можно определить по формуле (год):

$$t_0 = \frac{R \cdot L}{v_B}, \quad (4)$$

$$t_1 = \frac{R \cdot (L + l_B)}{v_B}, \quad (5)$$

где l_B – расстояние от потока грунтовых вод для ближайшего края массива отвального тела к поверхностному водному объекту (м).

Таким образом, коэффициент удержания предлагаем определять при учете годового распределения осадков:

$$R = 1 + \left(\frac{\rho}{P} \right) \cdot k_d \cdot k_p, \quad (6)$$

где k_d – коэффициент поглощения в водоносном горизонте (м³/кг);

k_p – коэффициент корреляции, учитывающий летнее распределение осадков в этой местности.

Используя матрицу ковариаций элементов массива, его можно выразить как $k_p = \text{cov}(X, Y) / (\sigma_x \sigma_y)$, где в качестве X избрано среднемесячное количество осадков, а в качестве Y выступает среднегодовое количество осадков:

ρ – плотность водоносного горизонта ($\text{кг}/\text{м}^3$);
 P – пористость водоносного горизонта.

Как известно, при определенных условиях происходит постоянное питание реки подземными водами и пополнение запасов грунтовых вод во время наводнения и паводков, а также постоянное увеличение запасов грунтовых вод за счет речных. При определенном расположении водоупорных пород отсутствует связь между грунтовыми и речными водами. Иногда возможна гидравлическая связь между грунтовыми и речными водами только при наводнении или паводке и его отсутствие во время межени [6]. Эти вариации необходимо учитывать при дальнейшей реализации математического моделирования миграционных процессов на территориях, прилегающих к фосфогипсовым отвалам и, соответственно, при определении прогностической функции миграции поллютантов в экосистеме.

Исходные данные для реализации модели определяли в соответствии с физико-химическими и биохимическими условиями проведения процесса миграции элемента в почвенном профиле (табл. 1). При этом значение t с шагом $\Delta t = 1$ год изменялось в течение 2008–2017 гг.

Таблица 1

Исходные данные для проведения математического моделирования

Table 1

Source data for mathematical modeling

Начальные условия	Значение	Единицы измерения
F_h	1,5	–
γ_L	0,23	–
L	12,5	м
v_g	1,5	м/год
l	2	м
R	0,23	–
$\alpha_{\text{биокс}}$	0,34	сут^{-1}

Для решения задач статистических и кинетических характеристик процесса миграции элементов в толще грунта использовали систему MatLab 7.8.0, что позволило сократить время анализа, а также обеспечить высокую точность полученных результатов. Отображение графического совмещения данных полевых исследований и результатов моделирования осуществлялось с помощью пакета программ MS Excel. Для примера реализации модели был взят элемент (свинец).

В сером типе почв вблизи отвала фосфогипса весь запас свинца сконцентрирован в верхнем слое почвы: 0–12 см, глубже наблюдается равномерное распределение этого элемента (рис. 1). Динамика временных изменений профилей залегания Pb в верхнем слое отображает сравнительно незначительные их изменения во времени, они не превышают значений ПДК, исходя из полученных результатов процесса моделирования и полевых исследований.

Соответственно, на основе экспериментальных и расчетных данных был построен график эволюции глубины залегания «центра масс» вертикального распределения свинца в почве. Усреднив значение центра масс прямой линией, получаем значение коэффициента направленного переноса $w = 0,19$ см / год, что соответствует расчетному значению ЧЗ по свинцу. Из рис. 2 следует, что «центр масс» загрязнения постепенно смещается вглубь почвы, хотя наблюдаются «разброс» полученных положений «центра масс», что объясняется влиянием на вертикальную миграцию метеорологического, геохимического факторов и биотической составляющей почвы. При этом на рис. 2 также отражена прогностическая функция относительно возможной глубины миграции свинца на 2018 г.

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно медленном смещении концентрации свинца вглубь почвенного профиля, что может быть вызвано влиянием ряда факторов на вертикальную миграцию этого элемента, в частности, влияния на его трансформацию в экосистеме собственно буферных свойств почвенного комплекса и поступления металла из фосфогипсового отвала в малорастворимой форме.

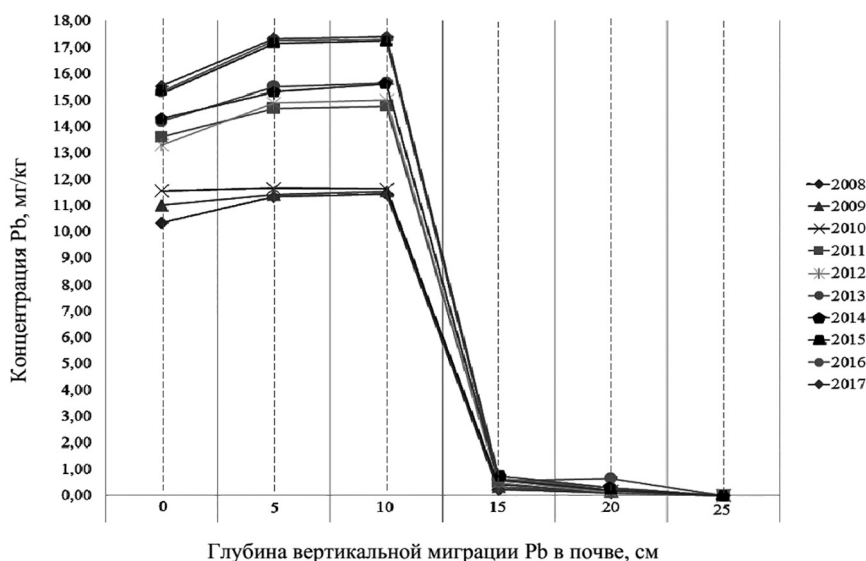


Рис. 1. Вертикальное распределение свинца в серых почвах

Fig. 1. Vertical distribution of lead in soil

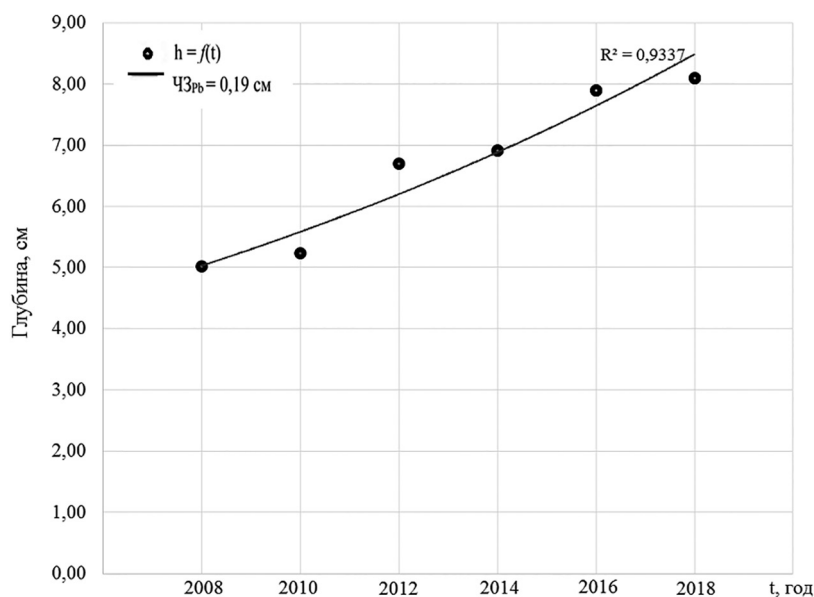


Рис. 2. Моделирование эволюции глубины залегания «центра масс» вертикального распределения плотности загрязнения свинца в сером типе почвы

Fig. 2. Modeling of the evolution of the depth of occurrence of the «center of mass» of the vertical distribution of lead pollution density in the grey type of soil

Заключение

Таким образом, определены основные факторы влияния на процесс миграции в окружающей среде тяжелых металлов из массива фосфогипсовых отвалов. Осуществлено описание показателя поступления запасов паллютантов ($ЧЗ_{Me}$) из массива в толщу почвы. Полученная формализация позволяет исследовать динамические характеристики, с помощью которых можно выявить основные зависимости, определяющие глубину миграции тяжелых металлов из массива фосфогипсовых отвалов, от следующих факторов: времени вымывания компонентов из фосфогипса, доли растворимых форм тяжелых металлов из общего их объема, глубины залегания грунтовых вод, скорости движения грунтовых вод, плотности и пористости водоносного горизонта, максимальной удельной скорости роста групп микро-

организмов-индикаторов глубины минерализации органического субстрата в почве, температурного режима почв, распределения осадков в этой местности и т. д.

Определено, что в сером типе почв (вблизи отвала фосфогипса) весь запас свинца сконцентрирован в верхнем слое почвы (0–12 см), глубже наблюдается равномерное распределение этого элемента. Результаты полевых исследований и моделирования динамики временных изменений профилей залегания Pb в верхнем слое отражают незначительные их изменения во времени, которые не превышают значений ПДК. В работе получено значение коэффициента направленного переноса этого элемента ($w = 0,19$ см / год), что соответствует расчетному значению доли поступления его в процессе вертикальной миграции в почвенно-грунтовой профиле.

Библиографические ссылки

1. National Emission Standards for Radon emission from phosphogypsum stacks. Washington: U. S. Environment Protection Agency, 1992.
2. Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T., et al. Adsorption and Migration of Heavy Metals in Soil. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2001. Vol. 10, № 1. P. 1–10.
3. Guidelines for management and handling of phosphogypsum generated from phosphoric acid plants (final draft). Hazardous Waste Management Series. Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar, 2013.
4. Пляцук Л. Д., Черныш Е. Ю., Яхненко Е. Н. и др. Системный подход к экологическому мониторингу в районе размещения отвала фосфогипсовых отходов // Экологический вестник. 2015. № 4 (34). С. 77–85.
5. Яхненко О. М., Черныш С. Ю., Пляцук Л. Д. і інші. Самозаростання відвалу фосфогіпсу як показник рівня техногенного навантаження на довкілля. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2016. № 1 (13). С. 110–119.
6. Коржик О. М. Основи гідрології, метеорології і кліматології [Электронный ресурс] URL: http://lubbook.net/book_532.html (дата обращения: 20.05.2017).

References

1. National Emission Standards for Radon emission from phosphogypsum stacks. Washington: U. S. Environment Protection Agency, 1992.
2. Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T., et al. Adsorption and Migration of Heavy Metals in Soil. *Polish J. of Environm. Stud.* 2001. Vol. 10, № 1. P. 1–10.
3. Guidelines for management and handling of phosphogypsum generated from phosphoric acid plants (final draft). Hazardous Waste Management Series. Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar, 2013.
4. Plyatsuk L. D., Chernysh Ye. Yu., Yakhnenko E. N., et al. Systematic approach to environmental monitoring near phosphogypsum waste dump. *Ekolog. vestn.* 2015. No. 4 (34). P. 77–85 (in Russ.).
5. Yakhnenko E. N., Chernysh Ye. Yu., Plyatsuk L. D., et al. Self-overgrowing of the phosphogypsum dump as a level indicator of technogenic loading on environment. *Envir. safety and sust. res. use*. 2016. No. 1 (13). P. 110–119 (in Ukrainian).
6. Korzyk O. M. Osnovy hidrolohiyi, meteorolohiyi i klimatolohiyi [Fundamentals of hydrology, meteorology and climatology]. URL: http://lubbook.net/book_532.html (date of access: 20.05.2017).

Статья поступила в редколлегию 02.06.2017
Received by editorial board 02.06.2017

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

QUALIFIED OPINION

ДВУОКИСЬ УГЛЕРОДА И КЛИМАТ. ФАКТЫ – ПРОПАГАНДА – ДЕЗИНФОРМАЦИЯ

Э. ЛЕНГФЕЛЬДЕР

Радиологический институт здоровья и окружающей среды имени Отто Хуга, Германия

DIOXIDE OF CARBON AND CLIMATE. FACTS – PROPAGANDA – DISINFORMATION

E. LENGFELDER

The Otto Hug Radiological Institute, Germany

После крупнейшей аварии на Чернобыльской АЭС 26.04.1986 г. проатомно настроенные правительства федеральных земель Германии и государств Европы оставили свое население в неведении в отношении ее последствий и отчасти целенаправленно дезинформировали его. В 1990 г. в рамках «Международного Чернобыльского проекта» 200 назначенных своими правительствами ученых Запада, в том числе 15 из Германии, а также 500 ученых Советского Союза провели по поручению таких учреждений, как ООН, ЕС, МАГАТЭ, ВОЗ, Научный комитет по действию атомной радиации UNSCEAR, ФАО и др., исследования последствий Чернобыльской аварии. На состоявшемся после этого международном конгрессе в Вене ученые ООН заявили следующее: «Не было никаких медицинских нарушений, которые могли быть отнесены непосредственно к действию радиации».

Это было искажением действительности. Отметим, что уже к концу 1990 г. был установлен рост случаев рака щитовидной железы у детей, прооперированных до этого в Беларуси и на Украине, вызванного воздействием радиоактивного йода, который превышал дочернобыльский уровень в 25 раз. Правильные диагнозы, поставленные врачами-онкологами Советского Союза, были потом во всех случаях подтверждены патологами из США.

Ученые нашего Института более чем тридцать лет интенсивно занимались методами и стратегиями политических и экономических субъектов атомной энергии на уровне ООН, ЕС и отдельных государств, а также изучением ее последствий для пострадавших народов. Нарботанный при этом опыт позволил затем детально взглянуть и на такую тематическую область, как двуокись углерода и климат – сферу сопоставимой политической, экономической и общественной актуальности.

Что касается так называемого распространенного и известного всем всеобщего знания, приведем один пример. Общественность «знает», что для устранения железодефицита у маленьких детей им лучше всего добавлять в пищу шпинат, поскольку он содержит много железа. Эта народная вера (прису-

шая до сих пор и некоторым представителям медицинской профессии) является доказуемо ошибочной. Причиной является публикация столетней давности (!), когда один ученый завысил содержание железа в шпинате, по сравнению с другими овощами, в 10 раз и обнаружил это.

Данная ошибка уже известна на протяжении более 80 лет. Однако ее продолжали десятилетиями распространять в печатных изданиях, а миллионы детей во всем мире должны были есть шпинат, хотя он им в большинстве случаев не нравился. Это надуманное «всеобщее знание» широко распространено и поныне, но большинство образовательных учреждений не предпринимают ничего, чтобы активно бороться с ошибочным мнением.

Пример математика и астронома Галилея также демонстрирует, что доказательство научной истины (Земля вращается вокруг Солнца) ничего не стоит, если власть имущие над политикой, и системой образования объявляют эту истину по идеологическим причинам ересью, заблуждением и проповедают свои ложные тезисы на протяжении столетий в качестве образцового учения в университетах и учебниках.

Органы власти (руководители государств, правительства, партии, религиозные вожди) осуществляют свою власть над людьми и народами через принадлежащие им системы образования. Следовательно, создаются и навязываются, к примеру, такие «истины», которые не отвечают естественно-научным или научно-историческим правилам аргументации, а в интересах целей власти имущих объявляются «очевидным знанием» и целенаправленно возводятся в ранг «научного достояния» общественности.

Сегодня на человечество обрушивается нарастающий поток информации. Становится все сложнее и затратнее находить различие между нейтральными объективными сведениями и бесконечными вариантами приукрашенной, управляемой, искаженной и вымышленной информации. «Информировать» означает – согласно изначальному значению этого слова – привести сознание, точку зрения, желания и цели людей «в соответствие с формой» или же «оформить». И это происходит практически всегда с целью достижения определенных замыслов и мотивов: со стороны фирм, желающих обеспечить сбыт своей продукции; СМИ, предписывающих нам смотреть на мир через их очки (и через очки их заказчиков); партий и правительств, желающих «привести нас в форму» в соответствии с их идеологиями, представлениями об их «правильном» образе жизни, вплоть до скрытого или даже неприкрытого лишения права самоопределения на свободную жизнь.

Многочисленная рать репортеров, специалистов-рекламщиков, фирм, занимающихся пиаром, Spin-Docs, идейно-политических фабрик Think-Tanks «информируют» нас и формируют благодаря этому мнения и даже убеждения. Их инструменты и методы управления массами уже достигли предела совершенства. И они по-царски вознаграждаются за это своими работодателями. Получатели информации должны как можно быстрее прочувствовать сконструированные задумки политических и экономических «элит», купить много товаров, отдать еще больше своих денег и своей свободы, верить и подчиняться, соглашаться с военными операциями, а также терпеть усиливающуюся социальную напряженность и экономические лишения.

Эдвард Бернейс (1891–1995, племянник З. Фрейда) – пионер и эксперт применения психологии в рекламе. Ему было очень хорошо известно, как функционирует человек и его психика. Книга «Пропаганда», вышедшая из-под его пера, является своего рода «кулинарной книгой», «библией» для успешного воплощения и внушения посланий на благо работодателей от политики и экономики.

Политика и экономика прибегают к реноме хорошо оплачиваемых профессоров и экспертов и с их помощью распространяют свои послания. Обман и фальсификация уже не являются в науке редкостью, хотя многие из наших граждан боятся признать эту реальность. *«Нельзя отрицать то, что и в науке – чаще чем нам, ученым, это нравится – имеется ложь и надувательство, не только небрежная халатность, а по-настоящему преднамеренный обман»*, – заявляет профессор, доктор Хуберт Маркль, бывший президент Общества им. Макса Планка по развитию науки.

Но в названном случае со шпинатом, как и на примере веры в «ложное знание» о том, что шпинат содержит много железа, не имеется вреда для здоровья. Это не приводит к ограничению нашей личной свободы и не причиняет ущерба нашему народному хозяйству, сфере труда, ситуации с доходами или социальному миру.

В случае с двуокисью углерода (CO₂) это обстоит принципиально по-другому. Обратимся вначале вкратце к естественно-научным фактам: воздух состоит из азота (78 %), кислорода (21 %), двуокиси углерода (0,04 %) и некоторых других рассеянных газов.

Живым существам, имеющим легкие/жабры (людям и животным), необходим для жизни кислород. Они выделяют в окружающую среду образующий при обмене веществ CO₂. Растения всех видов нуждаются в CO₂ и они выделяют в окружающую среду образующий при обмене веществ кислород. Двуокись

углерода не имеет значения для климата. Жизнь на Земле вообще возможна только с CO₂. Если у растений будет больше CO₂, то они будут просто сильнее и быстрее расти.

Из более поздней истории Земли (с растениями и животными) нам известны времена со значительно более высокой концентрацией CO₂. В средние века в Европе был период значительного потепления, приведшего к развитию в Северной Англии виноградарства, а также в Гренландии земледелия и животноводства, которыми занимались викинги. Отсюда и пошло название этого региона («Гренландия» – «Зеленая земля»). Совершенно очевидно, что данное потепление климата не могло иметь ничего общего с человеческой деятельностью – промышленностью, транспортом, электростанциями.

В течение прошедших десятилетий учеными было лучшим образом доказано, что климат на Земле определяется излучаемой Солнцем энергией и ее колебаниями.

На протяжении длительного времени политики и СМИ информируют нас о прогрессирующей климатической катастрофе. На мировом уровне официальные органы (учреждения ООН, комиссия ЕС, большинство правительств, включая немецкое) утверждают, что увеличение на миллиарды тонн содержания CO₂ в атмосфере (в действительности это лишь несколько сотых долей процента) из-за нашего образа жизни и потребления энергии, климат становится все теплее и человечеству угрожает опасность исчезновения. *Это должно запугать людей, что как раз и является планом и замыслом соответствующих аналитических фабрик Think-Tanks и т. д.*

От людей, находящихся под воздействием страха, можно, например, потребовать ограничений и побуждать их к выплатам отчислений на климат. Многие отрасли промышленности будут вынуждены приобретать сертификаты на выброс вредных веществ в окружающую среду. Все это является гигантским бизнесом для маленькой группы людей, на которых работают фабрики мысли Think-Tanks и т. д.

Одной из таких фабрик является Римский клуб (Club of Rome), который подает себя на публике чаще всего как защитник окружающей среды и борец за гуманные условия жизни. Он был создан при участии клана Рокфеллера. Вот что заявлял Рокфеллер: *«Предпочтение должно быть, несомненно, отдано наднациональному суверенитету интеллектуальной элиты и банкирам мира перед национальным самоопределением, практикуемым за прошедшие столетия».*

О стратегической ориентации и целях этой группы мало что известно. Но внутренние документы руководящей верхушки проясняют следующее: *«Речь идет о коллективной заботе о будущем и ответственности за будущее человечества с помощью создания глобального общества в XXI столетии под началом глобального правительства. <...> ... Демократия не оправдала себя, демократия больше не годится для задач будущего. Должна быть быстро введена новая система глобального контроля – на основе вызовов окружающей среды».*

Этим высказаны ясные цели. Здесь нет места для недопонимания.

Для объединения народов в соответствии со стратегией Римского клуба требуется наличие враждебной угрозы, от которой они защитятся под руководством элиты: *«В поисках общего врага, против которого мы можем объединиться, мы выработали идею о том, что загрязнение, угроза глобального потепления, дефицит воды, голод и подобные вещи были бы для этой цели правильным выбором. <...> ... Для объединения наций требуется коллективный враг, какой-либо реальный враг, или какой-либо такой, который будет для этой цели придуман».*

Двуокись углерода стала таким вымыслом.

В Европейском союзе в 2005 г. была законодательно введена эмиссионная торговля на выброс двуокиси углерода в окружающую среду. Это является хорошим примером того, что образованности и ума не становится больше, если по таким вопросам заставляют голосовать большинство депутатов без элементарнейшего знания дела, но по указке партийного руководства и рати лоббистов.

Легковерие немцев в Европе давно известно. Наполеон высказывался по этому поводу следующим образом: *«Нет более простодушного и легковерного народа, чем немцы. Как бы грубо не вымышлялась ложь, немцы воспринимают ее всерьез. По любому призыву, который до них доведут, они преследуют своих соотечественников с большим ожесточением, чем своих истинных врагов».*

Большинство людей склоняются при постоянном повторении новостей в СМИ к предположению, что информация должна быть правильной уже из-за частоты ее предъявления. Как раз наоборот: *«Нужно постоянно повторять правду, потому что вокруг нас всегда проповедуется также ложное, и при этом не отдельными людьми, а массой – в газетах и энциклопедиях, в школах и университетах. Повсюду ложное оказывается наверху, и ему хорошо и комфортно в чувствах большинства, находящегося на его стороне»*, – признавал немецкий поэт, естествоиспытатель и государственный деятель Иоганн Вольфганг фон Гёте.

«Легче поверить в ложь, которую слышал сто раз, чем в правду, о которой еще не слышал никогда», – констатировал социолог Роберт Стотон Линд.

В 1988 г. была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата МГЭИК (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), выполняющая функцию Всемирного совета ООН по защите климата и отвечающая четким политическим задачам. Она должна «продать» человечеству историю об изменении климата, вызванного деятельностью человека, и происшедшего в результате повышения содержания двуокиси углерода. МГЭИК занимается сбором климатических данных у определенных, отобранных для этого институтов по всему миру, и рассчитывает с помощью компьютеров модели климата на будущее.

Уже давно доказано, что МГЭИК «причесывает» и фальсифицирует результаты в интересах политики. Профессор Шнайдер, человек из руководства МГЭИК, в 1989 г. заявлял: *«Нам надо распространять сценарии, нагоняющие страх, делать драматические заявления, ...не допускать никаких сомнений. Каждый из нас, исследователей, должен определиться, насколько он хочет быть честным либо, скорее, эффективным!»* Это является приглашением высочайшего уровня к фальсификации и обману. Потому что «*быть, скорее, эффективным*» означает: больше денег, больше власти и больше общественного признания. Джон Хоутон, вице-президент МГЭИК, в 1994 г. писал: *«Пока мы не объявим о катастрофах, никто не будет слушать».*

В 2009 г. были преданы огласке более 1000 электронных писем важнейшего британского института, поставляющего данные для МГЭИК. Одним из примеров является послание профессора Джоунса профессору Рэй Брэдли: *«Дорогой Рэй, Майк и Малкольм, я только что завершил природный трюк Майка с включением в действительные температуры ... последних 20 лет, и, начиная с 1961 года, для Кита, для того чтобы утаить снижение (температур). Ура! Фил».*

Эти фальсификации привели, например, к возникновению в докладе МГЭИК о мировом климате 2001 г. известной температурной кривой hockey-stick (хоккейная клюшка). Бывшие эксперты-консультанты ежегодных докладов МГЭИК, как, например, проживающий в Новой Зеландии климатолог и автор многих специальных монографий по фальсификации климата, профессор, доктор Винсент Грей, высказываются о МГЭИК следующим образом: *«МГЭИК насквозь коррумпирована... единственная реформа, которую я мог бы себе представить, это ее упразднение».*

Бьющие тревогу в отношении климата постоянно приводят аргумент, что 97 % климатологов приходят в своих публикациях к единому мнению: в потеплении и изменении климата виноват выделяемый человеком CO_2 . После внимательного изучения этого утверждения эксперты данной статистики установили: 97-процентное единодушие появилось благодаря грубым мошенническим манипуляциям с опубликованными показателями. Единодушие в вопросе наличия якобы причинной связи между CO_2 и вытекающими из этого климатическими последствиями является действительным лишь в отношении небольшого процента климатологов.

Не обращая внимания на доказанные фальсификации «семьи МГЭИК», многие ученые, не зарабатывающие и не получающие какую-либо выгоду на «проекте климатической катастрофы», давно доказали: климатическая сказка о двуокиси углерода является ложью. Политика нанимает – за соответствующее хорошее вознаграждение в виде денег и имиджа – именно тех услужливых ученых, которые находят и потом распространяют «правильное». Постоянно и беспрерывно. На такое исследование климата индустриальными нациями ежегодно выделяются десятки миллиардов евро и долларов. Члены МГЭИК, национальные консультационные органы по климату, посланники правительств, выезжающие на постоянно повторяющиеся встречи на высшем уровне по климату и т. д., имеют общие цели – сохранение богатого содержания и выделение по-царски щедрых денег на исследования.

Многие люди (в том числе члены экологических ассоциаций) уже записались в ряды фанатиков, противостоящих CO_2 , и, находясь зачастую в благой вере и поддавшись аргументам, только повторяют их как молитву, но не могут этого ни понять, ни осмыслить.

Тем немногим, кто не участвует в прибыльных махинациях дельцов и ростовщиков (таких, как, например, бывший вице-президент США и инвест-менеджер Эль Гор – ведущий торговец сертификатами), сегодня ясно, что с помощью угрозы климатической катастрофы и так называемой деятельности по спасению от климатического апокалипсиса, населению можно навязать серьезные ограничения и вытянуть из его карманов невероятное количество денег.

«Человек не способен распознавать правду, если в нем запрограммированы противоположности», – так писал об этой проблеме известный ученый-этолог Конрад Лоренц. Большинство людей, годами лелеющие свои мнения и убеждения, например, о том, что двуокись углерода якобы играет пагубную роль, будут испытывать отвращение и чувствовать себя тягостно, если им придется подвергнуть сомнению или даже изменять свои прежние, считающиеся «истиной», воззрения. С другой стороны, они тогда будут, в изначально положительном смысле этого слова, «разочарованы», то есть, заблуждение было бы записано ими в пользу научных фактов.

Накануне Французской революции Иммануил Кант (1724–1804) написал несколько предложений, изменивших мир сильнее, чем многие войны до этого времени и после: *«Просвещение – это выход человека из состояния несовершеннолетия, в котором он находится по собственной вине. Несовершеннолетие – это неспособность пользоваться своим рассудком без управления со стороны кого-то другого. Несовершеннолетие по собственной вине имеет причиной не недостаток рассудка, а недостаток решительности и смелости пользоваться им без управления со стороны кого-то другого. ... Лениость и трусость являются причиной того, что такая большая часть людей ... охотно остается на всю жизнь в состоянии несовершеннолетия; по этим же причинам другие так легко присваивают себе право быть их опекунами. Это ведь так удобно быть несовершеннолетним».*

Велением сегодняшнего дня, как никогда прежде, является преодоление несовершеннолетия, в котором повинен ты сам, и приобретение способности пользоваться своим умом без управления со стороны других (пропагандистов, партийно-политических лжецов, интриганов от власти, религиозных оболыстителей и т. д.). Сказанное относится, например, и к разрушению сформировавшихся обществ и культур в результате инсценированных войн, к хлынувшему благодаря этому (и в результате открытия границ) потокам беженцев, к откровенной исламизации Европы и разрушению национальных государств.

**КОММЕНТАРИИ К СТАТЬЕ Э. ЛЕНГФЕЛЬДЕРА
«ДВУОКИСЬ УГЛЕРОДА И КЛИМАТ. ФАКТЫ – ПРОПАГАНДА –
ДЕЗИНФОРМАЦИЯ»**

В. Ф. ЛОГИНОВ

Центр климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси

**COMMENTS ON THE ARTICLE OF E. LENGFELDER "DIOXIDE
OF CARBON AND CLIMATE. FACTS – PROPAGANDA –
DISINFORMATION"**

V. F. LOGINOV

*Center for Climate Studies of the Institute for Nature Management
of the National Academy of Sciences of Belarus*

Ближних взглядов относительно парникового потепления климата придерживается ряд ученых не только СНГ, но и за рубежом, например, О. Г. Сорохтин (статья «Адиабетическая теория парникового эффекта»). Работа опубликована в книге «Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий» (отв. ред. акад. РАН Ю. А. Израэль).

Большая группа ученых, к которым относится и автор данного комментария, считает, что доказательная база для окончательных выводов относительно причин и последствий изменений климата пока недостаточная. В теории климата существует еще много нерешенных вопросов: управление данными, низкая точность оценок роли прямых и обратных связей, неопределенности в оценках влияния радиационных факторов, а также внутренних факторов в климатической системе (Эль-Ниньо-Южное колебание, автоколебания, и т. д.), большой разброс прогностических оценок климатических изменений и др.

К настоящему времени среди научного сообщества нет согласия не только о траектории климата ближайших десятилетий, но и о пространственно-временных закономерностях климатических изменений за период инструментальных наблюдений. Зачастую высказываются претензии к достоверности и достаточности использованных данных для окончательных выводов, а климатические модели называют скорее эвристическими, чем прогностическими. Эту группу исследователей составляют широко известные в мире ученые, академики РАН К. Я. Кондратьев, В. М. Котляков, а также много других известных ученых (профессора Е. П. Борисенков, С. Идсо и др. Они никогда не входили и не входят в «сплоченную» Международную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК).

У меня нет серьезных оснований подвергать сомнению высокую научную квалификацию членов МГЭИК, хотя желательность привлечения в состав этой группы ученых, придерживающихся несколько иных точек зрения, была бы крайне желательна для формирования более обоснованных выводов. Однако главной причиной дискусионности обсуждаемой проблемы остается ее чрезвычайная сложность, что не позволяет надеяться на ее скорое решение.

Встречающееся в литературе утверждение о том, что современное потепление климата определяется ростом содержания парниковых газов в атмосфере, как и утверждение об отсутствии эффектов парниковых газов в изменении современного климата, нельзя признать обоснованными. Более полезно было бы проводить дискуссии об уточнении оценок роли естественных и антропогенных факторов в изменении климата и совершенствовании научных знаний, которые бы позволили уменьшить разброс прогностических оценок климата будущего, чем отстаивать крайние позиции.

Многочисленными были и высказывания относительно использования международных соглашений по борьбе с потеплением климата в качестве инструмента геополитического давления на страны путем введения санкций и других дискриминационных мер в случае невыполнения ими условий таких соглашений. Амбициозное Парижское соглашение (декабрь 2015 г.) по защите климата пока не подкреплено финансовыми и научно-техническими возможностями многих стран мира. По оценкам российских ученых, для того чтобы удержать содержание углекислого газа в атмосфере на уровне 450 ppт, а в 1990 г. было около 350 ppт (сейчас 450 ppт), необходимо около 18 трлн дол. США. Страны, которые выразили бы желание выделить такие средства, пока не просматриваются.

В этой связи может оказаться, что Парижские соглашения, как и Киотский протокол, окажутся декларативными. Так, к концу срока действия Киотского протокола (2011–2012 гг.) выбросы углекислого газа относительно ключевого 1990 г. увеличились на 50 %, тогда как должны были уменьшиться на 5 %. Но я продолжаю сохранять надежду, что на фоне положительного тренда в изменении температуры земного шара (как это и было в прошлом!), возникнет очередная пауза в изменении температуры за счет естественных причин или даже произойдет падение температуры, например, за счет мощного вулканического извержения (таких выбросов не было уже более четверти века со времени извержения знаменитого вулкана Пинатубо – 1991 г.) и это уменьшит накал алармизма, который захватил планету. Представленные Эдмундом Ленгфельдером материалы «Двуокись углерода и климат. Факты – пропаганда – дезинформация», основанные на анализе существующего положения дел в климатологии, имеют право на существование.



МЕЖДУНАРОДНОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ ИМ. А. Д. САХАРОВА БГУ ИСПОЛНИЛОСЬ 25 ЛЕТ

INTERNATIONAL SAKHAROV ENVIRONMENTAL INSTITUTE CELEBRATED 25 YEARS

«Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (далее – МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ) создан Постановлением Правительства Республики Беларусь 20 января 1992 г. для кадрового обеспечения и научного сопровождения республиканских программ по ликвидации последствий чернобыльской катастрофы. Инициатива исходила от доцента кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета А. М. Люцко и была поддержана участниками I международного конгресса памяти А. Д. Сахарова. В течение 25 лет вуз менял свое название: «Международный колледж по радиоэкологии имени А. Д. Сахарова» при БГУ (1992) – «Международный институт по радиоэкологии им. А. Д. Сахарова» (1994) – «Международный государственный экологический университет им. А. Д. Сахарова» (1999) – «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (2015).

В процессе становления и развития МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ расширялся спектр и уровень реализуемых научных и образовательных программ – от радиоэкологических до общих экологических – формировались научно-педагогические школы и свои традиции. Мы опирались на апробированные и общепризнанные достижения различных научных школ вузов и академических институтов страны, а также вовлекали молодежь в активную научную и общественную работу. С 2000 г. начала проводиться ежегодная международная научная конференция «Сахаровские чтения. Экологические проблемы XXI века», а с 2010 г. – республиканская студенческая научная конференция. Значительный вклад в развитие науки в институте внесли ректоры – А. М. Люцко, А. А. Милютин, С. П. Кундас, а также известные ученые – А. Н. Батян, С. Б. Бокуть, Н. В. Герасимович, М. Г. Герменчук, Н. В. Гончарова, С. Е. Головатый, А. П. Голубев, М. М. Зафранская, А. И. Зинченко, А. Н. Капич, Е. И. Квасюк, Н. С. Лешенюк, Л. М. Лобанок, С. Б. Мельнов, В. П. Миронов, И. Б. Моссе, И. П. Наркевич, А. Е. Океанов, В. А. Пашинский, С. С. Позняк, М. П. Потапнев, Р. М. Смолякова, И. Г. Тарутин, О. В. Чистик, В. А. Чудаков. Важную роль в создании современной исследовательской базы института сыграл международный попечительский комитет, который длительное время возглавлял профессор Э. Ленфельдер (Радиологический институт здоровья и окружающей среды имени Отто Хуго, Германия).

Сегодня МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ – это учебно-научно-методический центр экологического профиля в Республике Беларусь и базовая организация СНГ. Основными направлениями научных исследований ученых вуза являются радиоэкология, радиобиология, биоэкология и иммунология.

Образовательный процесс в институте осуществляется на трех факультетах: мониторинга окружающей среды, экологической медицины и повышения квалификации и переподготовки. Здесь реализуется 11 программ подготовки специалистов на I ступени и 8 магистерских программ на II ступени высшего образования, работают аспирантура и докторантура.

В институте функционируют 12 кафедр: экологических информационных систем; экологического мониторинга и менеджмента; энергоэффективных технологий; ядерной и радиационной безопасности; общей и медицинской физики; социально-гуманитарных наук и устойчивого развития; экологической химии и биохимии; иммунологии и экологической эпидемиологии; экологической медицины и адиобиологии; общей экологии, биологии и экологической генетики; лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций; физического воспитания.

Институт имеет филиал в г. Ереване (Республика Армения), осуществляющий подготовку на I ступени высшего образования по специальности «Медицинская экология», и совместный факультет с Таджикским национальным университетом в г. Душанбе (Республика Таджикистан), где проводится совместная подготовка на I ступени высшего образования по трем специальностям: «Ядерная и радиационная безопасность», «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент», «Медико-биологическое дело».

Подписаны соглашения о сотрудничестве с более чем 60 зарубежными учебными и научными центрами, в рамках которых выполняются совместные образовательные программы, международные проекты, академические обмены студентами и преподавателями, международные семинары и конференции. Совместные образовательные программы по сетевой модели реализуются с Национальным ядерным университетом «МИФИ» и Российским университетом дружбы народов (Российская Федерация). На двусторонней основе и в рамках европейских программ активно развивается сотрудничество с университетами многих стран Европы. Институт является базовой площадкой МАГАТЭ для реализации программ повышения квалификации и переподготовки по радиационной защите и безопасности источников ионизирующего излучения.

На 01.09.2017 г. в институте насчитывается 1861 обучающийся. Из них 1138 студентов дневной и 590 – заочной формы обучения, 110 магистрантов и 23 аспиранта. С начала 2017/18 учебного года по образовательным программам МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ обучаются 58 иностранных граждан в Минске и 119 – в Душанбе и Ереване.

Учебный и научный процессы обеспечивают 227 преподавателей и 9 научных сотрудников: из них 22 доктора и 104 кандидата наук.

С. А. Маскевич,
доктор физико-математических наук, профессор,
директор МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

Sergey Maskevich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Director of ISEI BSU

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Коваль Е. А.</i> Мироззренческие основания социальных экологических практик в «хорошем обществе».....	4
<i>Рахмангулов А. Н., Орехова Н. Н., Осинцев Н. А.</i> Концепция системы формирования компетенций в области устойчивого развития.....	11
<i>Шеринёва Т. В., Дроздов И. И.</i> Факторы развития зависимости от виртуальной среды.....	20

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Пухтеева И. В., Герасимович Н. В., Матяш М. С.</i> Влияние холодного фактора и тяжелых металлов на структурное состояние плазматических мембран тимоцитов крыс.....	31
<i>Пухтеева И. В., Герасимович Н. В., Рыбаченок Д. С.</i> Функционирование системы циклических нуклеотидов в условиях экстраклеточного воздействия физиологически активных веществ.....	40

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Верещако Г. Г., Чуешова Н. В., Бакиаева М. А., Козлов А. Е., Цуканова Е. В., Шалатонин В. И.</i> Чувствительность репродуктивной системы крыс-самцов к изолированному и сочетанному действию внешнего облучения (1,0 Гр) и магнитного поля промышленной частоты (50 Гц).....	46
---	----

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Гармаза Ю. М., Тамашевский А. В.</i> Zn-дефицитные состояние в эритроцитах человека <i>in vitro</i> и свободнорадикальные процессы.....	54
<i>Сыса А. Г., Макаревич Д. В., Живицкая Е. П.</i> Потребление алкоголя как фактор риска опухолей гортани в Республике Беларусь.....	64
<i>Яковец И. В., Янковский И. В., Борисов К. Н., Жуков К. А., Хлудеев И. И., Болотина Л. Н., Зорин В. П.</i> Механизмы распределения порфириновых фотосенсибилизаторов в сыворотке крови.....	72
<i>Яковец И. В., Янковский И. В., Борисов К. Н., Жуков К. А., Белевцев М. В., Болотина Л. Н., Зорин В. П.</i> Влияние производных β -циклодекстрина на биодоступность и биораспределение тетрапиррольных соединений.....	81

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Бутько А. А., Пашинский В. А., Родькин О. И.</i> Техничко-экономические аспекты производства щепы при возделывании ивы белой (<i>Salix alba</i>).....	91
<i>Жданович С. А., Пугачевский А. В.</i> Дифференцированная оценка запаса углерода в резервуаре крупных древесных остатков в малонарушенных сосновых лесах Беларуси.....	101
<i>Турусбеков С. К.</i> Концепция строительства деривационных гидроэлектростанций в Иссук-Кульской котловине.....	109
<i>Черныш Е. Ю., Пляцук Л. Д.</i> Математическое моделирование процесса миграции компонентов фосфогипсового отвала в окружающей среде.....	115

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

<i>Ленгфельдер Э.</i> Двуокись углерода и климат. Факты – пропаганда – дезинформация.....	121
<i>Логинов В. Ф.</i> Комментарии к статье Э. Ленгфельдера «Двуокись углерода и климат. Факты – пропаганда – дезинформация».....	126

МГЭИ ИМ. А. Д. САХАРОВА БГУ – 25

<i>Маскевич С. А.</i> Международному государственному экологическому институту им. А. Д. Сахарова БГУ исполнилось 25 лет.....	128
---	-----

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Koval E. A.</i> World view foundations of social environmental practices in «good society».....	5
<i>Rakhmangulov A. N., Orekhova N. N., Osintsev N. A.</i> The concept of developing competences system in the field of sustainable development.....	11
<i>Shershniova T. V., Drozdov I. I.</i> Factors of development of dependence on virtual environment.....	20

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Puhteeva I., Gerasimovich N., Matyash M.</i> The influence of the cold factor and heavy metals on the structural state of plasma membranes of rats thymocytes.....	32
<i>Puhteeva I., Gerasimovich N., Rybachenok D.</i> The functioning of the system of cyclic nucleotides in the conditions of influence of extracellular physiologically active substances.....	40

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Vereschako G., Chueshova N., Bakshayeva M., Kazlou A., Tsukanova E., Shalatonin V.</i> Sensitivity of the reproductive system of male-rats to isolated and combined external exposure activity (1.0 Gy) and magnetic field of industrial frequency (50 Hz).....	47
--	----

MEDICAL ECOLOGY

<i>Harmaza Yu., Tamashevski A.</i> Zn-deficient states in human erythrocytes <i>in vitro</i> and free radical processes.....	55
<i>Sysa A., Makarevich D., Zhyvitskaya A.</i> Larynx cancers attributable to alcohol consumption in the Republic of Belarus.....	64
<i>Yakavets I., Yankovsky I., Barysau K., Jukov K., Khludeyev I., Bolotina L., Zorin V.</i> Porphyrin photosensitizer distribution mechanisms in blood serum.....	73
<i>Yakavets I., Yankovsky I., Barysau K., Jukov K., Belevtsev M., Bolotina L., Zorin V.</i> Influence of β -cyclodextrin derivatives on the bioavailability and biodistribution of tetrapyrrole compounds.....	82

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Butsko A. A., Pashynski V. A., Rodzkin A. I.</i> Technical and economic aspects of the production of chips during the cultivation of willow white (<i>Salix alba</i>).....	92
<i>Zhdanovich S., Pugachevskiy A.</i> Differential estimation of carbon store contained in the coarse woody debris pool in the Belarussian near natural pine forests.....	101
<i>Turusbekov S. K.</i> The concept of construction of diversion hydropower plants in the Issyk-Kul basin.....	109
<i>Chernysh Ye., Plyatsuk L.</i> Mathematical modeling of the migration process of components of phosphogypse dump in the environment.....	115

QUALIFIED OPINION

<i>Lengfelder E.</i> Dioxide of carbon and climate. Facts – propaganda – disinformation.....	121
<i>Loginov V. F.</i> Comments on the article of E.Lengfelder “Dioxide of carbon and climate. Facts – propaganda – disinformation”.....	126

ISEI BSU – 25

<i>Maskevich S. A.</i> International Sakharov Environmental Institute celebrated 25 years.....	128
--	-----

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.
№ 3. 2017**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
20030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1, каб. 205-2, 302,
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: bulletin@iseu.by

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

Редакторы *Л. М. Корневская, Т. А. Лавринович*
Технический редактор *Д. В. Головач*
Корректор *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 22.09.2017.

Усл. печ. л. 16,5

Уч.-изд. л. 17,87

Тираж 100 экз. Заказ 432.

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

© БГУ, 2017

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 3. 2017**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk.

Correspondence address: Dolgobrodskaya str., 23/1, office 205-2, 302,
220070, Minsk.

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

E-mail: bulletin@iseu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»
published since September, 2017.

Until August, 2017 named «*Ekologicheskii vestnik*»
(ISSN 1994-2087).

Editors *L. M. Korenevskaya, T. A. Lavrinovich*
Technical editor *D. V. Golovach*
Proofreader *A. V. Krasutskaya*

Signed print 22.09.2017.

Conv. print. sheet 16,5

Publ. Sheet 17,87

Edition 100 copies. Order number 432.

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

© BSU, 2017