



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 1 раз в квартал

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

4

2019

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **POZNYAK S. S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Executive secretary** **LYSUKHA N. A.**, PhD (engineering), Associate Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: nlyukha@mail.ru
-
- Batyan A. N.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Hermenchuk M. G.* State Scientific and Technical Institution «Center for Nuclear and Radiation Safety» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Grichik V. V.* Belarusian State University, Minsk, Belarus
- Dardynskaya I. V.* Great Lakes Center for Occupational and Environmental Safety and Health, Chicago, USA.
- Zafranskaya M. M.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Kilchevsky A. V.* National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Korovin Y. A.* Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
- Lengfelder E.* Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munich, 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.* Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 17:57:37(075)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭТИКА В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С. А. МАСКЕВИЧ¹⁾, Т. В. МИШАТКИНА¹⁾, В. И. ФАЛЬКО²⁾

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

²⁾Мытищинский филиал Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана,
ул. 1-я Институтская, 1, 141005, г. Мытищи, Россия

Развитие экологической этики, экоэтического образования и воспитания в Республике Беларусь и Российской Федерации базируется на двустороннем взаимодействии: в России акцент делается на разработке теоретических вопросов, а Беларусь выступает лидером в области организации изучения и прикладного использования данного направления. Анализируются основные факторы и проблемы развития экологической этики и экоэтического образования, практическая значимость полученных результатов для совершенствования подготовки специалистов-

Образец цитирования:

Маскевич СА, Мишаткина ТВ, Фалько ВИ. Экологическая этика в системе образования для устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;4:4–14.

For citation:

Maskevich SA, Mishatkina TV, Falko VI. Environmental ethics in the education system for sustainable development of the Republic Belarus and the Russian Federation. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;4:4–14. Russian.

Авторы:

Сергей Александрович Маскевич – доктор физико-математических наук, профессор, директор.

Татьяна Викторовна Мишаткина – кандидат философских наук, доцент; профессор кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

Владимир Иванович Фалько – кандидат технических наук, доцент; профессор кафедры педагогики, психологии, права, истории и философии.

Authors:

Sergey A. Maskevich, doctor of science (physical and mathematical), professor; director.

info@iseu.by

Tatyana V. Mishatkina, PhD (philosophy), docent; professor at the department of social-humanitarian sciences and sustainable development.

mtv_2013@tut.by

Vladimir I. Falko, PhD (engineering), docent; professor at the department of pedagogy, psychology, law, history and philosophy.
vfalco@yandex.ru

природопользователей и формирования у них инвайроментального мировоззрения. Впервые представлена стройная, логически и содержательно обоснованная концептуальная модель экологической этики в контексте стратегии устойчивого развития. Отмечаются положительные результаты, достигнутые в ходе белорусско-русского сотрудничества, ставятся новые задачи дальнейших исследований.

Ключевые слова: экологическая этика; концептуальная модель эколого-этического образования; не-антропоцентрическая парадигма; нравственно-понимающее отношение к природе; экологизация морали; нравственно-экологический императив.

Благодарность. Работа подготовлена в рамках договора МГЭИ им. А. Д. Сахарова с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № Б18МС-032 от 01 июня 2018 г. по теме «Экологическая безопасность и биоразнообразие Восточно-Европейского и Центрально-Азиатского регионов в контексте устойчивого развития, глобальной биоэтики и стратегии выживания».

ENVIRONMENTAL ETHICS IN THE EDUCATION SYSTEM FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC BELARUS AND THE RUSSIAN FEDERATION

S. A. MASKEVICH^a, T. V. MIISHATKINA^a, V. I. FALKO^b

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

^bMytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University,
1 I-Institutskaya Street, Mytishchi, 141005, Russia

Corresponding author: T. V. Mishatkina (mtv_2013@tut.by)

The development of environmental ethics, environmental education and upbringing in the Republic of Belarus and the Russian Federation is based on bilateral interaction: in Russia, the emphasis is made on the development of theoretical issues, and Belarus is a leader in organizing the study and applied use of this problem. The paper outlines the main factors and problems of the development of environmental ethics and eco-ethical education, the practical significance of the results for improving the training of specialists in the field of environmental protection and the formation of an environmental worldview. For the first time, a harmonious, logically and substantively evidenced conceptual model of environmental ethics in the context of a sustainable development strategy is presented. Positive results achieved during the Belarusian-Russian cooperation are noted, new tasks for further research are set.

Key words: environmental ethics; conceptual model of environmental and ethical education; non-anthropocentric paradigm; moral understanding of nature; greening morality; environmental moral imperative.

Acknowledgement. The study was conducted within the agreement of ISEI BSU with the Belarusian Republican Foundation for Basic Research No. B18MS-032 dated June 01, 2018 «Environmental safety and biodiversity of the East European and Central Asian regions in the context of sustainable development, global bioethics and survival strategies».

Введение

Обострение экологической ситуации в мире в последние десятилетия обусловило рост внимания к экологической этике и воспитанию нравственного отношения человека к природе. В настоящее время разработка проблем экологической этики признана общемировой тенденцией стратегии устойчивого развития. Это связано как с успехами, так и издержками научно-технического прогресса в сфере природопользования. В Республике Беларусь актуальность эколого-этических исследований и образования определена также целями пострадиационной защиты и «врачевания» природы и человека, необходимостью сохранения здоровья населения Беларуси «после Чернобыля» и в условиях активного применения новых технологий.

Для решения поставленных задач общество нуждается в качественно новой парадигме ментальности и профессионалов, и населения. Формирование такого нравственного сознания предполагает системное воздействие на личность специалиста, которое обеспечивается *непрерывностью эколого-этического образования*. Оно должно начинаться в средней школе, давать фундаментальное обоснование морально-экологических норм в учреждениях высшего образования, получать логическое развитие и завершение в системе последипломного образования экологов, инженеров, агрономов, экономистов, педагогов. Это отражает актуальность обращения к проблемам экоэтики, ориентации на разработку ее

философско-методологических основ, создание учебных пособий и методических рекомендаций, на обеспечение этико-экологической экспертизы научных исследований и их внедрение.

Необходимость и потребность эколого-этической регуляции в современном обществе. Востребованность экологической этики определяется тем, что основными «заказчиками» и «потребителями» экологической культуры и эколого-этических компетенций специалиста выступает «веер» проблем их практического применения.

Во-первых, *проблемы экологической безопасности*, связанные со строительством в Беларуси атомной электростанции, что в рамках государственной программы подготовки специалистов вызвало введение в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ специальности «Ядерная и радиационная безопасность», предполагающей изучение спецкурсов по этике рисков и управления ими.

Во-вторых, практическая проблема *поиска альтернативных возобновляемых источников энергии*, ответом на которую в МГЭИ им. А. Д. Сахарова введена специальность «Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов». Актуальность подготовки специалистов такого рода обусловлена необходимостью обеспечения энергетической независимости и безопасности страны с опорой на собственные ресурсы. Данные проблемы сами по себе этически содержательны, ибо это – не только бережное отношение к природе своего края, но и правильно понимаемый действенный патриотизм. Их решение предполагает определенный уровень *экоэтического сознания специалиста*, ориентированного на умение и готовность соблюдать такие *принципы этики земли*, как «хронологическая объективность», «ответственность перед будущим» и др. [1].

В-третьих, *морально-психологические проблемы*, связанные с вопросами реабилитации населения и нарушением *эко- и биоэтических принципов* в отношении людей, пострадавших (прямо или косвенно) от аварии на ЧАЭС. Это проблемы своевременного и достоверного информирования населения, соблюдения экологического принципа предосторожности, биоэтического принципа «информированного согласия» и насущные вопросы *эколого-этического характера*.

В-четвертых, областью практического применения теоретических постулатов экологической этики выступает *обеспечение биобезопасности и биоразнообразия*, связанное с развитием науки и современных биотехнологий, обладающих огромным потенциалом и возможностями воздействия на человека, социум и природу. Вместе с тем перспективы эти оказываются двойственными. Следовательно, пока имеется элемент неопределенности возможных неблагоприятных последствий научных инноваций, генно-инженерная деятельность, разработка нанотехнологий и наноматериалов, другие формы технологической активности человека должны регулироваться согласно *эколого-этическому принципу предосторожности*.

В-пятых, новое направление социальной экологии подлежит этической регуляции и регламентации. *Экология человека* зависит от практического развития *безопасной медицины* и таких ее областей, как трансплантология, репродуктивные технологии, контроль рождаемости (геномика, генодиагностика, генотерапия, генетическое редактирование), психофармакология и др. С одной стороны, в их рамках формируются большие возможности генетического манипулирования, эмбриональной хирургии, новые технологии деторождения, трансплантации органов, поддержание больного в бессознательном, «вегетативном» состоянии. С другой – исследования и практические успехи создали нестандартные ситуации, усилившие остроту морально-этических и правовых проблем, в частности, определение правового статуса эмбриона и правовых оснований для распределения донорских ресурсов при трансплантации; разработка новых подходов к определению критериев смерти; проблемы «улучшения человека»; необходимость контроля над развитием биотехнологий с целью предотвращения их катастрофических последствий для человека.

Таким образом, необходимость этической регуляции научных исследований встает сегодня как *практическая задача экологической этики*, требующая ответа на вопрос: *всегда ли в области биотехнологий следует делать то, что уже можно сделать?*

Методологические основания эколого-этического образования. В условиях расширяющихся масштабов использования достижений науки и техники, следование универсальным нормам и принципам экологической этики является необходимым фактором защиты экологии человека, его прав и достоинства. Поэтому в контексте стратегии устойчивого развития *целью* становится, прежде всего, *разработка концептуальной модели экологической этики* как теоретико-методологического основания экологического менеджмента, этико-экологической экспертизы и мониторинга научных исследований и внедрения новейших технологий, а также как необходимой базы для методического обеспечения системы непрерывного эколого-этического образования специалистов и просвещения населения.

Разработка *концептуальной модели экологической этики* предполагает систематизацию и обработку эколого-этического знания, выявление и обоснование статуса его отдельных компонентов; теоретико-методологический анализ механизмов взаимодействия гуманитарного и естественно-научного

знания, обуславливающих становление и развитие экоэтики; теоретический анализ актуальных проблем экоэтики в их единстве с биоэтическими проблемами; разработку базовых понятий экоэтики; выявление и исследование ее структуры, функций и принципов; разработку и внедрение образовательных программ, учебных пособий и методических рекомендаций по изучению основ экологической этики в системе профессионального образования и повышения квалификации специалистов; теоретическое и методическое обеспечение просвещения населения в области экологической этики и биоэтики.

В результате использования необходимых средств, ресурсов и способов осуществления намеченных задач в Беларуси впервые на постсоветском пространстве создается достаточно стройная, логически и содержательно обоснованная теоретическая модель экологической этики в контексте стратегии устойчивого развития; выявляется ее потенциал как теоретико-методологического основания подготовки специалистов; создается системная программа непрерывного эколого-этического образования и просвещения. Следует подчеркнуть, что достигнуты положительные результаты в разработке теоретических вопросов экологической этики не только в Беларуси и России, но и в других странах постсоветского пространства. Таким образом, для решения проблем эколого-этического образования и эффективного развития намечающихся тенденций, концентрирующих в себе вызовы времени, уже имеются некоторые предпосылки, связанные с укреплением международных связей и сотрудничества.

Развитие экологической этики и воспитание нравственного отношения к природе в России.

Теоретические идеи и практика воспитания нравственного отношения к природе имеют в России свою предысторию. Так, В. С. Соловьев с позиций *теоцентризма* писал о предстоящем преодолении своекорыстного отношения человека к природе в будущем обществе: «Материальная природа будет служить человеку, и гораздо больше, чем теперь, но это служение будет основано на обоюдной любви. Природа с любовью подчинится человеку, и человек с любовью будет ухаживать за природой» [2].

Глубокое и богатое теоретическое наследие оставили *русские космисты*, в частности, В. И. Вернадский в учении о ноосфере. Развивая идеи *экологизации науки* на основе теории глубинного общения, Г. С. Батищев в 1961 г. высказывал мысль о необходимости отношения к *природе как субъекту*, предвосхитив принцип субъект-субъектных отношений в экоэтике. С позиций *натуроцентризма* рассматривали природу как субъект отношений с человеком И. Б. Новик и К. Д. Кузьмин, утверждая, что человек должен уметь поставить себя в положение объекта по отношению к природе как субъекту.

Под влиянием этих выдающихся ученых В. И. Фалько обосновывает *принцип субъект-субъектных отношений человека и природы* с позиций *экоцентризма*, предполагающего диалогическое, синергичное взаимодействие человека с соприродным Иным [3; 4]. Одним из оснований такой точки зрения является *идея нравственно-понимающего отношения к природе*, высказанная В. А. Петрицким [5].

Субъект-субъектные отношения человека и природы определены как важнейший принцип экоэтики в учебном пособии, подготовленном коллективом авторов в Республике Беларусь под руководством Т. В. Мишаткиной и изданном под эгидой ЮНЕСКО [6]. Такие отношения определяют и делают возможным формирование нравственных ценностей экоэтики вокруг двух стержней: *чувства любви и сострадания к природе* и *чувства времени*, предполагающего заботу о природных условиях существования будущих поколений [1].

Идеи единства общества и природы высказывал Э. В. Гирусов, обосновавший в 1989 г. положение о *природных основах нравственности* и сформулировавший *социально-экологические законы соприродного развития*. Развивая концепцию *коэволюции общества и природы*, Н. Н. Моисеев обосновал *нравственно-экологический императив*, требующий перехода от антропоцентристской идеи преобладания человека над природой к идее их сосуществования [7].

В 1993 г. группой российских философов во главе с Ю. В. Олейниковым был разработан «Экологический кодекс России (Этика природопользования)» [8], который в последние годы вновь активно обсуждается в печати и на экологических форумах на предмет принятия его в качестве декларации и закрепления его нормативных положений в юридических актах. Центральная идея Кодекса – *Золотое правило нравственности в отношениях человека и природы*: «Суть этики природопользования: относись к природе так, как желаешь, чтобы относились к тебе!»; «Относись к природе так, будто последствия действий касаются тебя лично!» [8].

На новый теоретический уровень поднимается разработка принципов экологической этики как этики прикладной. В рамках программы ЮНЕСКО Сектором этики ИФ РАН (Р. Г. Апресян) разработаны *общие и практические* принципы экологической этики как разновидности *прикладной этики* [9]. К ее *общим принципам* ученый относит: уважение ко всем формам жизни, биоразнообразию, поддержание устойчивости биосферы, экологическую справедливость, принципы предосторожности и общего достоинства природных ресурсов. К *практическим принципам* – права будущих поколений, разделенную ответственность, «презумпцию опасности», сокращение и конвергенцию.

В начале нового столетия в России придается импульс *практическому воплощению теоретических разработок в систему образования и воспитания*. В течение 2004–2007 гг. в рамках проекта HESP и проекта «Совершенствование обучения этике в системе высшего образования», координируемого Сектором этики ИФ РАН (проф. Р. Г. Апресян), для молодых преподавателей этики России, Беларуси, Украины проводились семинары в Каунасе, Киеве, Минске, а также Летние международные школы в Подмоскowie. К обучению основам прикладной и экологической этики привлекались такие специалисты мирового уровня, как Р. Холмс, А. А. Гусейнов, Б. Г. Юдин, эксперты из республик постсоветского пространства. Результатом этой работы стал сборник «Этика и экология», изданный при поддержке Бюро ЮНЕСКО [10].

Постепенно в России формируется ряд центров, занимающихся проблемами прикладной (в том числе экологической) этики. Авторитетнейшим из них многие годы является НИИ Прикладной этики при Тюменском нефтегазовом университете. В «Ведомостях» НИИ ПЭ под редакцией известных этиков России В. И. Бакштановского и Ю. В. Согомонова находит отражение развитие этической мысли не только России, но и всего постсоветского пространства [11]. Центры разработки *методики преподавания* экологической этики – это Институт философии Российской академии наук, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева (г. Саранск, А. А. Сычев, М. Д. Мартынова).

Теоретические и прикладные вопросы экологической этики обсуждались и получили углубленную разработку на Конгрессах по экоэтике в МГТУ им. Н. Э. Баумана. *Философско-методологические проблемы* формирования экологического мировоззрения находятся в центре внимания Московского государственного университета леса (ныне – Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана). Идеи экологической этики обсуждаются и на ежегодных Международных научных конференциях «ЭкоМир», проводимых в последние годы Бауманским университетом и его Мытищинским филиалом, а также на страницах журнала «Лесной вестник» и сборников материалов конференций.

Значительную роль в развитии *экоэтического образования и воспитания нравственного отношения к природе* играют Всероссийские конференции по экологическому образованию, проводимые неправительственным Экологическим фондом им. В. И. Вернадского и Российской экологической академией. Экологическая этика является предметом деятельности Секции социальной экологии РЭА (Э. В. Гирусов, Н. М. Мамедов), регулярно проводящей Форумы «Экология для жизни: интеграция и развитие для будущих поколений», на которых вручается Национальная экологическая премия «ЭРАЭКО», Международное общественное движение «ЭКОЭРА» (International social movement «ECOERA»).

Ведущую роль в теоретической и методической реализации государственной политики в сфере экологического образования и воспитания в высшей и средней школе играет Российская академия образования, в частности, Институт стратегии развития образования РАО и такие ученые, как Е. Н. Дзятковская, А. Н. Захлебный, А. А. Мамченко и др.

Растет значение *международных связей* с одним из лидеров организации экоэтического образования в СНГ – Международным экологическим институтом им. А. Д. Сахарова БГУ, с которым в 2017 г. Мытищинским филиалом МГТУ им. Н. Э. Баумана подписан Меморандум о сотрудничестве в области теории и практики экоэтики. Это сотрудничество проявляется, например, в проведении сравнительных социологических исследований, позволяющих оценить влияние изучения экологических дисциплин и экоэтики на экологическую культуру студентов. Мониторинг экокультуры и нравственных ценностей студенческой молодежи в учреждениях высшего образования Российской Федерации и Республики Беларусь указывает на высокую корреляцию прямой зависимости уровня экологической культуры и нравственного отношения к природе от организации экоэтического образования и воспитания [12].

Разработка концептуальной модели эколого-этического образования в Беларуси. Несмотря на достижения в области становления экологической этики, *концепция этико-экологического образования* (ЭЭО) в законченном виде пока не сложилась ни в Беларуси, ни в России, поэтому следует говорить скорее о *концептуальной модели* эколого-этического образования. Ее формирование и содержание обусловлены рядом обстоятельств. С одной стороны, это обстоятельства, общие для всей эколого-этической проблематики, ориентирующие на поиск общих универсальных закономерностей, с другой – региональные особенности, затрудняющие создание единой теоретической модели и концепции ЭЭО. **Основные факторы**, определяющие формирование концептуальной модели ЭЭО в Республике Беларусь (как общие, так и частные), перекликаются / совпадают с условиями ее формирования в России, Украине, Литве [13; 21]:

1. Актуальность и необходимость решения экологических проблем в глобальном и региональном масштабах – *всеобщий фактор*; в Беларуси это и *региональные* экологические проблемы, связанные с постчернобыльской ситуацией; как следствие, особое внимание в Беларуси к разработке этических оснований *экологии человека*.

2. Низкий уровень *этико-экологической культуры* населения (как обывателей и «профанов», так и профессионалов, а также людей, принимающих ответственные решения) – *всеобщий фактор*.

3. Вместе с тем *единство в понимании зависимости* принимаемых решений по экологическим проблемам, достигнутое наконец-то человеческим сообществом, от *ментальности* и уровня *экологической культуры* общества.

4. *Принципиальные особенности самой экологической этики и ЭЭО:*

а) *неразрывное единство и равноправие* в сфере *рационально-логического и эмоционально-чувственно-го начал*; необходимость *обращения к сентиментальности* как одному из факторов формирования чувства любви, жалости, сопереживания к незащитным и зависимым природным объектам, нуждающимся в защите и заботе;

б) необходимость *непрерывности* в системе ЭЭО, требующей его осуществления «всегда и везде»: как во «временном» (с детского – «ясельного» возраста до системы повышения квалификации «зрелых» природопользователей), так и в «пространственном» аспектах (используя для этого не только учебные, но и внеучебные формы и методы);

в) поиск и применение *нетривиальных форм и методов ЭЭО* (case-study и др.).

5. *Особенность формирования КЭЭО (комплексной эколого-экономической оценки) в Беларуси* – наличие опыта по организации в стране биоэтического образования через институциональную систему Национального комитета и локальных комитетов по биоэтике; система непрерывного многоуровневого биоэтического образования и возможность ее использования в целях ЭЭО [22].

6. Проблемы и трудности в разработке самой *теории экоэтики*: отсутствие единого мнения о роли *антропоцентристских и не-антропоцентристских подходов* в экоэтике; многозначность и вариативность экспликации ее *основных принципов*; дискуссии по поводу *нормативного характера* экоэтики и содержания экоэтических норм, практических правил и регулятивов, их статуса и соотношения.

Содержание и структура концептуальной модели экологической этики. Основа концепции ЭЭО – это *концептуальная модель самой экологической этики*, отстраивающая свое проблемное поле, систему нравственных категорий и базовых принципов на двух уровнях – *теоретическом и нормативном*, определяющих ее *структуру*. На *теоретическом* уровне разрабатываются концептуальные основания экологической морали как сферы должного, осуществляется поиск и обоснование фундаментальных ценностей, их критериев и статуса, выдвигаются *базовые принципы* экоэтической регуляции. На *нормативном* уровне формулируются конкретные правила жизненных моральных суждений, отвечающие на *практический вопрос*, «что я должен делать», регламентирующие поведение людей в природе и способы разрешения социоприродных конфликтов. Оба уровня взаимно обуславливают друг друга и определяют пути и способы решения задач экоэтики как науки и учебной дисциплины.

Основными теоретическими положениями, нуждающимися в фундаментальном обсуждении с целью разработки концептуальной модели ЭЭО, на наш взгляд, выступают следующие взаимосвязанные друг с другом проблемы [13]:

1. Определение границ между *антропоцентризмом* и *не-антропоцентризмом*. В условиях обострения глобальных экологических проблем исключительно *человекоцентристские цели* не могут оставаться единственными целями экологической политики человечества. Сегодня решение экологических проблем, практический стиль отношений человека и природы во многом зависит от четкости линии между *антропоцентризмом* и *не-антропоцентризмом* – этими принципиальными альтернативными позициями. *Антропоцентризм*, считающий Человека высшим критерием в шкале ценностей, высокомерно и эгоцентрично ставит его над Природой. *Не-антропоцентристский* подход, не снижая роли и значения человека, выдвигает на первый план *гармоничное и равноправное сообщество* людей и других живых и неживых компонентов природы.

2. Анализ *«пост-человечности»* [14] – *гуманизма более высокого уровня*, требующего от человека заботы о жизни и правах Живого на всех уровнях его бытия. Новая *пост-человечность* выявляет способность личности к заботе о жизни и правах Живого на до-, не- и недо-человеческом уровнях, что выводит человечность за пределы человеческого как биологического вида. Этот *новый гуманизм* должен в той же мере проявляться в отношении к природе, как и в межчеловеческих отношениях, требуя от человека Любви, Уважения и Ответственности ко всему природному миру. Признание за человеком способности отказаться от собственного антропоэгоизма и жить интересами Другого – это и есть проявление подлинного – «человечного» гуманизма.

3. Решение проблемы *природных ценностей*: следует ли признать *независимость и внутреннюю самостоятельность* природных объектов, или их ценность определяется потребностями и интересами человека? Это один из самых спорных вопросов в экоэтике. Мы считаем, что экосистемы должны быть признаны *самостоятельными моральными субъектами*, обладающими *внутренней неотъемлемой ценностью*. Человек

не вправе решать с позиции пользы и целесообразности вопрос о ценности или праве на жизнь того или иного вида. Он должен заботиться о сохранении всех видов и объектов природы, не допуская потерь в *биоразнообразии*. Тем самым экоэтика накладывает нормативно-нравственный мораторий на обращение с природой как с вещью и ресурсом. Только *самоценность* природных систем может быть основанием современной экоэтики.

4. Обоснование возможности и необходимости *нравственно-понимающего* отношения к природе [5], базирующихся на признании «*одухотворенности*» Живого. Проявляется оно в стремлении понять Живое, его чувствования и переживания. Для такого со-чувствия, со-страдания необходимо, чтобы Живое – «*не-человеческий субъект*» признавалось источником отношений, равным субъекту человеческому [5].

5. Признание *субъект-субъектных отношений* между человеком и природой – это восприятие человеком природных явлений как «своего Иного», как Иного субъекта. По мнению В. И. Фалько, независимо от того, существует или нет в действительности этот Иной сознательный субъект, всю природу предлагается рассматривать как Иное мыслящее, чувствующее существо или даже социальный организм [4]. Принцип субъект-субъектных отношений человека и природы, вытесняющий традиционные отношения, в которых природа выступала как *объект*, определяет и делает возможным формирование нравственных ценностей и критериев экоэтики вокруг *чувства любви и сострадания к природе и чувства времени* [1].

6. Способность испытывать *чувство времени, обращенность в будущее*, предполагающие заботу о природных условиях существования будущих поколений, базируется на ряде специфических моральных принципов, норм и ценностей: принципе хронологической объективности, «долге перед потомками», нормах-императивах «диалога с будущим», которые должны лежать в основе наших обязательств перед будущими поколениями, имеющими право на достойную жизнь [1].

7. Принятие «*нравственно-экологического императива*» [7] – объективных *требований* – «*повелений*» людям, ответственным за использование достижений научно-технического прогресса в природной среде. Эти повеления базируются, прежде всего, на *принципе предосторожности*, который требует: а) необходимости учета уязвимости природной среды, б) не допустимости превышения ее «пределов прочности»; в) не вступать в противоречие с естественными закономерностями, чтобы не нарушать их сложных взаимосвязей и не вызывать необратимых процессов.

8. Ориентация на *принцип «благоговения перед жизнью»*, согласно которому следует «относиться с благоговением к каждому живому существу, уважать его как собственную жизнь...» и делать индивидуальный выбор на основе формулы А. Швейцера: «*Я – жизнь, которая хочет жить... среди жизни, которая хочет жить*» [15]. Только при таком, благоговейном отношении может состояться равноправный диалог человека с природой.

9. Соблюдение всех этих принципов предполагает «правильное» соотношение *морально-экологической свободы и ответственности*, которое определяется степенью познания социоприродных закономерностей и стремлением к их разумному использованию. *Морально-экологическая свобода*, в свою очередь, зависит от учета и соблюдения *принципиальных постулатов морально-экологической ответственности*: переход от «модели преобладания» человека над природой к «модели сосуществования» человека и природы; принятие новой концепции охраны окружающей среды – не столько *для* человека, сколько *от* человека; управление «животным», которое находится внутри нас; примирение экономики и производства с экологией на основе моральных критериев.

Предлагаемые принципы, нормы и императивы вполне могут, на наш взгляд, претендовать на роль *концептуальных оснований экологической этики*. Они не бесспорны, но их признание и реализация способствовали бы необходимому в современных условиях процессу *экологизации морали* на основе детерминации отношения людей к природным объектам не только материально-экономическими, правовыми или административными предписаниями, но и *нравственными нормами и принципами; экологизации «традиционных» моральных норм и принципов* (долг и совесть по отношению к природе становится *экологическим долгом и экологической совестью*); появления *новых моральных ценностей*, минимизирующих «старые» – полезности и целесообразности; образования единой *нравственно-экологической ответственности* как в производственно-профессиональном, так и бытовом природопользовании; постепенной, сложной и длительной перестройки морального сознания на основе *нравственно-экологического образования, воспитания и просвещения*.

Эколого-этическое образование и воспитание в Республике Беларусь. Формирование нового типа инвайронментального сознания и системы ценностей осуществляется в Республике Беларусь в процессе эколого-этического образования, направленного на обеспечение его *непрерывности*, начиная с младших классов школы. *Интегрированные природоохранные курсы* введены в программы средней школы, средних

специальных и высших учебных заведений. С учетом возраста детей экологические аспекты включены в программы образовательно-воспитательного процесса даже некоторых детских дошкольных учреждений.

Значительный опыт экологического воспитания накоплен внешкольными учреждениями, в частности Республиканским экологическим центром детей и юношества. Система дополнительного образования эколого-биологической направленности для детей и молодежи охватывает более 30 тыс. учащихся и объединяет 19 экологических центров и около 2 500 кружков эколого-биологического профиля. На этих площадках под руководством ученых и педагогов-практиков проходит опытническая, практическая, исследовательская деятельность учащихся, способствующая формированию их экологической ответственности. Более 500 школ Беларуси включены в проект ШПИРЭ (Школьный проект использования ресурсов и энергии), более 200 школ получили статус «Зеленые школы».

На уровне *высшей школы* в обязательный перечень дисциплин также введены природоохранные курсы, созданы научно-методические советы, ведущие разработку образовательных эколого-ориентированных стандартов. Особую роль в становлении и развитии эколого-этического образования играет Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова БГУ, созданный в 1992 г. в Минске по инициативе ученых БГУ при поддержке Международного Сахаровского комитета – как ответ на вызов Чернобыля, на потребность и необходимость широкой эколого-этической образовательной-просветительской деятельности.

Сегодня МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ является базовой организацией государств-участников СНГ по экологическому образованию, возглавляя Учебно-методическое объединение учреждений высшего образования республики по экологическому образованию.

МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ первым на постсоветском пространстве обратился к идее изучения в экологическом учреждении высшего образования *экологической этики*. Здесь разработана специальная эколого-этическая образовательная программа, предполагающая в изучении экоэтики сочетать «сентиментальность», апелляцию к чувствам любви и сострадания к природе, с анализом реальных ситуаций и умением принимать решения; переходить от общих принципов экоэтики к конкретным технологиям решения проблем, основанным на поиске компромиссов между интересами человека и природы. *Цель* изучения экологической этики: формировать у обучающихся (будущих экологов, биологов и медиков) осознанное нравственное отношение к природе и Иному Живому, деятельностно-благоговейное отношение к Жизни Человека и Иного Живого, устойчивую ориентацию и готовность в будущей практической деятельности руководствоваться принципами и нормами экологической этики.

Немаловажную роль играет при изучении курса сочетание традиционных и нестандартных *интерактивных методик* – игровых, ситуативных и др. Эколого-этическая образовательная программа и введение учебного курса «Основы экологической этики» потребовали серьезного *методического обеспечения*. Разработаны учебные программы для непрерывного эко- и биоэтического образования, снабженные методическими указаниями, и учебно-методические комплексы для студентов по курсам «Экологическая этика» и «Биомедицинская этика». Изданы методические рекомендации по организации эколого-этического образования специалистов и просвещения населения. Активность МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ в области экологической этики по достоинству оценена ЮНЕСКО: институт является экспериментальной площадкой ЮНЕСКО, благодаря чему стала возможной подготовка, издание и безвозмездное распространение в учебных заведениях Беларуси учебных пособий и учебно-методических материалов по экологической этике [6; 16–19].

Овладение основами экологической этики осуществляется в институте и за счет *гуманизации изучения специальных дисциплин*. Так, некоторые разделы экоэтики и биоэтики интегрированы в спецкурсы радиобиологии и экологической медицины. Эксперименты на лабораторных животных полностью заменены в институте *альтернативными методами* (демонстрацией учебно-научных фильмов, муляжей, компьютерными обучающими программами и др.). Разработан факультативный спецкурс «Альтернативы использования экспериментальных животных в образовании».

Этико-экологическое образование потребовало расширить рамки формирования личности специалиста и *во внеучебное время*. Студенты привлекаются к участию в научных конференциях, круглых столах, пресс-конференциях по этико-экологической проблематике, их лучшие доклады и научные работы публикуются в сборниках материалов. Так, в ноябре 2019 г. в институте прошла очередная IX студенческая научная конференция на английском языке «Актуальные проблемы экологии».

В институте функционируют студенческое *объединение EcoUni* и клуб «*Экофилософия*», цель которых – вовлечение студенческой молодежи в образовательную-просветительскую деятельность в области экологии и охраны природы. Участниками EcoUni инициирован образовательный проект «Человек. Экология. Биоэтика» для школьников и дошкольников, апробированный обучающимися-волонтерами в детских садах и гимназиях г. Минска. Проект награжден дипломом и Национальной экологической премией,

а его программы были включены в проект ЮНЕСКО «Экологическая этика в системе биоэтического образования Республики Беларусь». На основе собственного опыта студенты – члены EcoUni разработали учебно-методическое пособие «Практикум по биоэтике и экоэтике для школьного и внешкольного образования». При поддержке ЮНЕСКО и InterNICHE (Международной сети за гуманное образование) был проведен научно-практический семинар «Гуманизация обучения специалистов медико-биологического профиля», посвященный защите животных в учебном процессе и научных исследованиях, издан сборник материалов семинара и подписан договор о сотрудничестве с InterNICHE.

В МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ активно ведется *этико-экологическая просветительская деятельность*. В качестве волонтеров обучающиеся и выпускники института осуществляют «этико-экологическое шефство» в школах; снимают фильмы и клипы пропагандистско-экологического характера, принимают участие в тематических кинофестивалях, сотрудничают с республиканскими журналами «Эколог и Я» и «Мир животных». Публичная апробация и обсуждение проблем эколого-этического образования и просвещения осуществляются и на республиканских и международных мероприятиях для педагогов и учащейся молодежи (научные конференции, семинары, летние школы) [20]. В рамках Международных научно-практических конференций «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века», ежегодно проводимых в Сахаровском институте, приглашают специалистов из России, Украины, Молдовы и др. стран содружества, организуется работа секций и круглых столов по проблемам экологической этики и эко-этического образования.

Этико-экологическая образовательная деятельность МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ осуществляется и находит признание на международном уровне. В частности, под эгидой ЮНЕСКО был разработан проект «Экологическая этика в системе образования Республики Беларусь». Учебно-научный комплекс института «Волма» становится *Экологическим информационно-образовательным центром* для обучающихся МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ и базой для повышения квалификации и проведения семинаров-тренингов для преподавателей экологии школ и учреждений высшего образования Беларуси и стран СНГ. Здесь создан *экологический парк с экологической тропой и демонстрационной площадкой*, размещены образцы установок, использующих возобновляемые энергетические ресурсы, разработан Путеводитель по парку для проведения экскурсий по экологической тропе, создана демонстрационная площадка, а также подготовлены инструкторы из числа студентов. Актуальным направлением эколого-этической образовательной программы стала разработка и реализация Программы превращения МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ в *«климатически нейтральное» учреждение высшего образования* – как ответ на призыв ООН к *«климатической нейтральности» (climate neutrality)*, означающей политику государств и образ жизни людей, нацеленных на то, чтобы *«не навредить климату»*.

Заключение

Таким образом, впервые на постсоветском пространстве в Беларуси разработана *концептуальная модель экологической этики*, базирующаяся на не-антропоцентрической парадигме отношения человека и природы, включающая этические принципы, нормы и стандарты, соответствующие международным документам и политике по защите экологии человека и природы. Стратегия разработки *концептуальной модели эколого-этического образования*, направленная на решение этических проблем для устойчивого развития, рассматривается сегодня как приоритетная *практическая составляющая и функция экологической этики*, а проводимые исследования призваны внести серьезный вклад в теоретическую разработку экологической этики и обеспечить практическое улучшение экологической ситуации в Беларуси и странах содружества, поскольку они способствуют:

- созданию методологического основания этической экспертизы научных исследований и новейших технологий, связанных с воздействием на экологию природы и человека [22];
- разработке и внедрению в практику образовательных эколого-этических программ, подходов и методик, обеспечивающих глубокое понимание этических проблем, возникающих под воздействием научно-технического прогресса;
- гуманизации общего и высшего образования и исследований в области естественных наук и наук биомедицинского профиля;
- созданию механизмов дальнейшей разработки основ экоэтики и ее важнейших направлений, а также рекомендаций по этическому мониторингу и регулированию практической деятельности специалистов в сфере природопользования;
- расширению доступа к информационным ресурсам в области науки, биотехнологий, биоэтики и экологической этики; формированию энвайронментального сознания, повышению уровня экологической культуры специалистов и населения.

Библиографические ссылки

1. Леопольд, О. Природная пирамида. В: *Экологическая антология. Экологические произведения западных авторов*. Москва–Бостон: Голубка; 1992. с. 48–51.
2. Соловьев ВС. Еврейство и христианский вопрос. В: *Сочинения*. Москва: Издательство «Правда»; 1989. Том 1. с. 255–256.
3. Фалько ВИ. Этические перспективы экологического сознания. В: *Экологические проблемы в условиях перестройки. Сборник трудов*. Москва; Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований; 1991. Выпуск 11. с. 23–29.
4. Фалько ВИ. Этические перспективы экологического сознания. *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2011;2(78):212–217.
5. Петрицкий ВА. Экологизация морали и этика. *Философские науки*. 1990;4:103–106.
6. Мишаткина ТВ, Аapresян РГ, Барковская АВ, и др. *Основы экологической этики. Учебное пособие*. Мишаткина ТВ, Кундас СП, редакторы. Минск: ЮНЕСКО – Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2008. 292 с.
7. Моисеев НН. *Человек, среда, общество*. Москва: Наука; 1991. 147 с.
8. Олейников ЮВ, Горелов АА, Кульпин ЭС, и др. Экологический кодекс России (этика природопользования). *Свободная мысль*. 1993;5:70–72.
9. Аapresян РГ. Основные принципы экологической этики. В: *Экологическая этика. Учебное пособие*. Кундас СП, Мишаткина ТВ, редакторы. Минск: Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2011. 278 с.
10. Аapresян РГ, редактор. *Этика и экология*. В: *Сборник научных докладов*. Новгород: Университет имени Ярослава Мудрого; 2010. Выпуск 9. 368 с.
11. Бакштановский ВИ, Карнаухов НН, редакторы. *Парадигмы прикладной этики*. Тюмень: Научно-исследовательский институт прикладной этики; 2009. Выпуск 35. 252 с.
12. Фалько ВИ, Кирилина ТЮ. Экологическая культура и нравственные ценности студенческой молодежи (опыт социологического анализа). *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2011;2(78):204–210.
13. Мишаткина ТВ. Концептуальная модель этико-экологического образования: поиск теоретических оснований и практических решений. *Экологический вестник*. 2008;3(6):60–65.
14. Тульчинский ГЛ. Современная гуманитарная парадигма: гуманитарность против гуманизма? В: *Философский век. Альманах*. Санкт-Петербург: [б. н.]; 2002. Выпуск 21. 211 с.
15. Швейцер, А. *Благоговение перед жизнью*. Гусейнов АА, Селезнев МГ, редакторы. Москва: Прогресс; 1992.
16. Логиновская ЛМ, Силич ТВ. *Биоэтика и экоэтика для школьного и внешкольного образования. Учебно-методическое пособие*. Мишаткина ТВ, редактор. Минск: Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2008. 184 с.
17. Борейко ВЕ, Мишаткина ТВ, Чумаков ЛС, Логиновская ЛМ, и др. *Экологическая этика от А до Я. Пособие для школьников, их учителей и родителей*. Мишаткина ТВ, Мельнов СБ, редакторы. Минск: Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2008. 172 с.
18. Мишаткина ТВ, редактор. *Практикум по биоэтике и экоэтике. Для школьного и внешкольного образования*. Минск: ЮНЕСКО – Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2011. 252 с.
19. Кундас СП, Мишаткина ТВ, редакторы. *Экологическая этика. Учебное пособие*. Минск: Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2011. 278 с.
20. Мишаткина ТВ, Кундас СП, редакторы. *Экологическая этика. Словарь-справочник молодого эколога*. Минск: Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2011. 136 с.
21. Vasiljevena N, Jurciukonyte A, editors. *Environmental ethics: the Power of Ethics for Sustainable Development. Collective monograph*. Vilnius: Mycolas Romeris University; 2010. 660 p.
22. Мишаткина ТВ, Мельнов СБ, редакторы. *Социальная биоэтика сквозь призму глобальной биоэтики. Коллективная монография*. Минск: Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета; 2018. 518 с.

References

1. Leopold A. *Prirrodnaya piramida* [Natural pyramid]. In: *Ekologicheskaya antologiya. Ekologicheskie proizvedeniya zapadnykh avtorov*. Moskva–Boston: Golubka; 1992. p. 48–51. Russian.
2. Soloviev VS. *Evreystvo i khristianskiy vopros* [Jewishness and the Christian Question]. In: *Collected edition*. Moscow: Izdatelstvo «Pravda»; 1989. Volume 1. p. 255–256. Russian.
3. Falko VI. Ethical perspectives of environmental consciousness. In: *Ekologicheskie problemy v usloviakh perestroiki. Sbornik trudov* [Environmental problems in perestroika. A collection of works]. Moscow: Vsesoiuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut sistemnykh issledovaniy; 1991. Volume 11. p. 23–29. Russian.
4. Falko VI. Ethical perspectives of environmental consciousness. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of Moscow State University of forests – Forestry bulletin]. 2011;2(78):212–217. Russian.
5. Petritsky VA. Greening of morality and ethics. *Filosofskie nauki* [Philosophical Sciences]. 1990;4:103–106. Russian.
6. Mishatkina TV, Apresyan RG, Barkovskaya AV, et al. *Osnovy ekologicheskoy etiki. Uchebnoe posobie* [Basics of environmental ethics]. TV. MishatkinaTV, SP Kundas SP, editors. Minsk: UNESCO – ISEU; 2008. 292 p. Russian.
7. Moiseev NN. *Chelovek, obshchstvo, sreda* [Human, environment, society]. Moscow: Nauka; 1991. Russian.
8. Oleynikov YuV, Gorelov AA, Kulpin ES, et al. Environmental Code of Russia (Environmental ethics). *Svobodnaya mysl* [Free thought]. 1993;5:70–72. Russian.
9. Apresyan RG. Basic principles of environmental ethics. In: *Ekologicheskaya etika. Uchebnoe posobie* [Environmental ethics]. Kundas SP, Mishatkina TV, editors. Minsk: International Sakharov Environmental University; 2011. 278 p. Russian.
10. Apresyan RG, editor. Ethics and ecology. In: *Sbornik nauchnykh dokladov* [Collection of scientific reports]. Novgorod: Yaroslav the Wise Novgorod State University; 2010. 368 p.
11. Bakshtanovskiy VI, Karnaukhov NN, editors. *Paradigmy prikladnoy etiki* [Paradigms of Applied Ethics]. Tiumen: Nauchno-issledovatel'skiy institut prikladnoy etiki; 2009. Volume 35. 252 p. Russian.

12. Falko VI, Kirilina TYu. Environmental culture and moral values of student youth (experience of sociological analysis). *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of Moscow State University of forests – Forestry bulletin]. 2011;2(78):204–210. Russian.
13. Mishatkina TV. The conceptual model of ethical and environmental education: the search for theoretical foundations and practical solutions. *Ekologicheskij vestnik* [Ecological bulletin]. 2008;3(6):60–65. Russian.
14. Tulchinsky GL. The modern humanitarian paradigm: Humanitarianism versus Humanism? In: *Filosofskiy vek. Almanakh* [The philosophical age. Almanac]. Saint Petersburg: [publisher unknown]; 2002. Volume 21. 211 p. Russian.
15. Shveitser A. *Blagogovenie pered shizniyu* [Reverence for life]. Guseinov AA, Seleznev MG, editors. Moscow: Progress; 1992. Russian.
16. Loginovskaya LM, Silich TV. *Bioetika i ekoetika dla shkolnogo i vneshkolnogo obrasovania* [Bioethics and ecoethics for school and extracurricular. Educational and methodical manual]. Mishatkina TV, editor Minsk: International Sakharov Environmental University; 2008. 184 p. Russian.
17. Boreiko VE, Mishatkina TV, Chumakov LS, Loginovskaya LM, et al. *Ekologicheskaya etika ot A do Ya* [Educational ethics from A to Yu. Work book for schoolchildren, their teachers and parents]. Mishatkina TV, Melnov SB, editors. Minsk: International Sakharov Environmental University; 2008. 172 p. Russian.
18. Mishatkina TV, editor. *Praktikum po bioetike i ekoetike* [Workshop on bioethics and ecoethics. For school and extracurricular education]. Minsk: UNESCO – International Sakharov Environmental University; 2011. 252 p. Russian.
19. Kundas SP, Mishatkina TV, editors. *Ekologicheskaya etira* [Environmental ethics. Textbook]. Minsk: International Sakharov Environmental University; 2011. 278 p. Russian.
20. Mishatkina TV, Kundas SP, editors. *Ekologicheskaya etika* [Environmental ethics. Dictionary-Reference book of a Young Ecologist]. Minsk: International Sakharov Environmental University; 2011. 136 p.
21. Vasiljevene N, Jurciukonyte N, editors. *Environmental ethics: the Power of Ethics for Sustainable Development. Collective monograph*. Vilnius: Mycolas Romeris University; 2010. 660 p.
22. Mishatkina TV, Melnov SB, editors. *Sotsialnaya bioetika skroz prizmu globalnoy bioetiki* [Social bioethics through the prism of global bioethics. Collective monograph]. Minsk: International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University; 2018. 518 p.

Статья поступила в редколлегию 15.11.2019.
Received by editorial board 15.11.2019.

УДК 504.06

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИЯ: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ РЕГИОНЫ, ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Т. М. АСТАБАЦЯН¹⁾

¹⁾Министерство здравоохранения Республики Армения,
пл. Республики, 3, 0010, г. Ереван, Армения

Согласно индексу экологической эффективности 2018 г., Армения занимает 63 место среди 180 стран. Важнейшие проблемы страны связаны с загрязнением воздуха, защитой среды обитания (ареалов) и с неэффективным использованием водных ресурсов. Адаптация к изменению климата является также одной из приоритетных задач Республики Армения. В настоящее время, в соответствии с Национальной программой действий по охране окружающей среды, в стране оптимизируется использование природных ресурсов и определена общая политика в области охраны окружающей среды.

Ключевые слова: экологическая обстановка; охрана окружающей среды; Республика Армения.

ECOLOGICAL SITUATION OF THE REPUBLIC OF ARMENIA: MAIN PROBLEMS, UNFAVORABLE REGIONS, SOURCES OF POLLUTION

T. M. ASTABACYAN^a

^aMinistry of Health of the Republic of Armenia,
3 Republic Square, Yerevan 0010, Armenia

According to the 2018 Environmental Efficiency Index, Armenia ranks 63 among 180 countries. The biggest country challenges are air pollution, habitat protection (habitats), and the inefficient use of water resources. Adaptation to climate change is a priority of the Republic of Armenia. Currently, in accordance with the National Environmental Action Programme, the Republic of Armenia optimizes the use of natural resources and defines the overall country environmental policy.

Key words: environmental situation; environmental safety; Republic of Armenia.

Введение

На протяжении последних десятилетий экологическая ситуация в Армении вызывает серьезные опасения. Особенности географического положения и климатические пояса Республики Армения (РА) играют важную роль в регуляции ее экологической обстановки. Характерными чертами страны с горным рельефом, не имеющей выхода к морю, являются уязвимость экосистем, засушливый климат, активные экзогенные процессы, опустынивание, а также частые стихийные бедствия. Эти факторы повышают уязвимость ее территории к нынешним и прогнозируемым последствиям изменения климата [1].

Образец цитирования:

Астабациян Т.М. Экологическая ситуация в Республике Армения: основные проблемы, неблагоприятные регионы, источники загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;4:15–19.

For citation:

Astabacyan T.M. Ecological situation of the Republic of Armenia: main problems, unfavorable regions, sources of pollution. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;4:15–19. Russian.

Автор:

Тигран Мушегович Астабациян – начальник отдела анализа и мониторинга агентства лицензирования.

Author:

Tigran M. Astabacyan, head at the department of analysis and monitoring of the licensing agency.
tigran.astabacyan.88@bk.ru

К основным загрязнителям природной среды в республике относятся Араратский и Разданский цементные заводы, Араратская золотоизвлекательная фабрика, Зангезурский медно-молибденовый и Алавердский горно-металлургический комбинаты, различные хвостохранилища и отвалы горных выработок, Нубарашенская свалка отходов на окраине Еревана.

Производство электроэнергии в РА осуществляется с использованием атомной энергии, газа, гидроэнергии и ряда энергоустановок, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Срок службы около 50 % мощностей превышает 40 лет. Среди генерирующих компаний выделяются Армянская и Мецаморская АЭС; Разданская теплоэлектростанция (ТЭС); Ереванская ТЭС; Севано-Разданский каскад гидроэлектростанций (ГЭС); Воротанский каскад ГЭС, малая гидроэнергетика и ветроэлектростанции.

В стране насчитывается 9 крупных гидроэлектростанций. Крупнейшими являются гидроэлектростанции Севано-Разданского каскада, который на 90 % принадлежит Единой энергосистеме России. Первая в Армении Мецаморская атомная электростанция с установленной мощностью 815 МВт построена в 1979 г., однако только один энергоблок в настоящее время находится в эксплуатации (текущая мощность – 407,5 МВт). Структура производства электроэнергии РА по источникам – это атомная энергия и гидроэлектроэнергия (примерно по 30 %), а также природный газ, на долю которого в 2013 г. приходилось свыше 40 % генерирующей мощности. Располагаемая мощность ниже установленной – это следствие большого срока службы и плохого технического состояния многих генерирующих станций. Мощность для покрытия базовой нагрузки обеспечивает атомная электростанция [1].

Переход на электроэнергетические ресурсы имеет экономические выгоды и перспективы экологического характера: уменьшение загрязнений воздуха, особенно в городских субъектах, воды, ограничение выбросов парниковых газов за счет инновационных технологий производства и развития транспортной системы на электроисточниках [2].

Основные экологические проблемы страны связаны также с низким уровнем защиты лесных массивов (примерно 10–11% от общей площади страны в 2012 г.), результатом чего является незаконная вырубка леса, удаление твердых отходов, а также уменьшение общего объема речного стока в результате изменения климата [3]. В настоящее время они решаются в некоторых случаях при содействии международных организаций.

Цель исследования: определение основных экологических проблем Республики Армения и анализ приоритетных направлений деятельности по их решению, предусмотренных законодательными актами.

Экологическая обстановка в г. Ереване. Качество окружающей среды существенно влияет на здоровье населения. По данным [4], вклад антропогенных факторов в развитие патологии органов дыхания составляет от 40 до 60 %.

Армения – наиболее густонаселенная страна региона, плотность населения составляет немногим более 100 чел. на 1 км². Большая его часть проживает в городских поселениях и примерно 38 % населения – в Ереване. Поэтому основное внимание при оценке экологической ситуации уделено этому городу.

Ереван и Араратская долина, где расположен город, отличаются сухим континентальным климатом – жарким летом, небольшим количеством осадков и умеренно-холодной малоснежной зимой, вырубкой или недоразвитием лесных зон и др., что может стать причиной опустынивания, особенно из-за нерационального использования водных ресурсов. Одной из проблем г. Еревана уже не первый год становится его запыление. По данным мониторинга Армстата (2004 г.), запыленность является основным загрязнителем воздушного пространства над городом (табл.) [5].

Наличие в пыли тяжелых металлов, паров токсичных газов влияет на изменения экологической среды, вызывая различные заболевания у населения. Как отмечает известный эколог З. Геворкян, «пыль в Ереване всегда была большой экологической проблемой» [6]. По мнению ученого, причина различных заболеваний заключается в функционирующих вокруг города рудниках, в том числе песчаных карьерах, содержащих тяжелые металлы и другие элементы, опасные для здоровья человека. При извлечении строительных материалов (камень, гравий и др.) происходит запыление атмосферы, частицы тяжелых металлов, входящие в состав пыли, оседают в почвах и растительности, превышая норму в 10–13 раз [6] и нарушая экологическое равновесие.

Следует отметить, что после сноса в 2006 г. одного из некогда значительных сооружений в центре столицы – многоэтажного архитектурного комплекса «Дом молодежи города Еревана», действовавшего в 1981–2006 гг., экологическая обстановка значительно изменилась. Вместо новой постройки в настоящее время на этом месте расположен строительный котлован, загрязняющий воздух города. Кроме того, рядом располагается Парк Победы, под который в 1930-х гг. выделено 48 га сомкнутого (продуктивного) леса. К началу XXI в. лесной массив сохранился лишь на 33 га парковой зоны. Часть городского лесопарка уничтожена в результате вырубки деревьев в 1990-е гг. из-за энергетической блокады Армении.

Максимальная и среднегодовая концентрация контролируемых загрязнителей в атмосфере г. Ереван, 2004 г. [4]

Table

Maximum and average annual concentration of controlled pollutants in Yerevan atmosphere, 2004 [4]

Название загрязняющего вещества	Максимальная концентрация, мг/м ³	Среднегодовая концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/м ³ однократная максимальная	ПДК, мг/м ³ среднегодовая
Пыль	–	0,4	0,5	0,15
Диоксид серы	0,59	0,13	0,5	0,05
Диоксид азота	0,60	0,13	0,085	0,04
Оксид азота	0,30	0,06	0,40	0,06
Приземный озон	0,329	0,083	0,16	0,03
Бензол	1,543	0,223	1,5	0,1
Толуол	0,929	0,162	0,6	0,6
Ксилол	–	–	0,2	0,2
Этил-бензол	–	–	0,02	0,02
Хлоропрен	–	–	0,1	–

Политика РА в области охраны окружающей среды. Улучшение экологической ситуации связывают с соблюдением международных норм и стандартов, принятых во многих странах мира [7]. В 1998 г. РА подготовила свою первую Национальную программу действий по охране окружающей среды (НПДО-ОС). В ней представлен ряд программ и планов действий, которые были утверждены или одобрены правительственными актами. Ощутимые результаты достигнуты в сфере законодательной и нормативно-правовой базы в области охраны окружающей среды благодаря разработке и реализации отраслевых планов и стратегий развития. По имеющимся данным, повысилась информированность общественности об экологических проблемах

В 2008 г. принята вторая НПДООС (НПДООС-2), в которой перечислены многочисленные экологические проблемы, комплексные подходы к их решению, пути совершенствования экологического законодательства. Согласно НПДООС-2, в РА нет всеобъемлющего закона, определяющего экологическую политику в целом. Принятие такого закона заложило бы основы для комплексного управления различными элементами в целях экологической устойчивости. Это обеспечило бы единый подход при принятии законодательных актов на основании международных соглашений (политику, программы, стратегии и отчеты, подходы к устойчивому развитию и управлению, стандарты, методы и нормы, передачу, обмен и применение технологий, осуществление мониторинга и исследований, сбор, предоставление информации и обмен информацией), а также привлечение общественности к участию в принятии решений в области охраны окружающей среды. Кроме того, в НПДООС-2 отмечается, что существует ряд противоречий, недостатков или отсутствуют механизмы обеспечения выполнения некоторых положений, предусмотренных в правовых актах, регулирующих экологическую сферу.

Вторая НПДООС является последним по времени стратегическим документом, в котором изложены экологические приоритеты. Она создала общую основу для комплексного управления состоянием окружающей среды в РА, целью которого является оптимизация использования природных ресурсов страны и определение общей политики в области охраны окружающей среды. Основные экологические проблемы Республики Армения, обозначенные в НПДООС-2: загрязнение воздуха, почвы и воды; удаление твердых отходов; истощение водных запасов рек, озер и др.; опустынивание; сокращение биоразнообразия; превышение предельно допустимых долей выбросов и утечек в окружающую среду; нерегулируемое использование опасных веществ и отходов; эпидемии и возможные природные и техногенные катастрофы. Кроме того, бюджетные средства, выделяемые на экологические проблемы, являются незначительными и достигают лишь 0,25–0,27 % ВВП. Согласно НПДООС-2, более половины экономических ресурсов, якобы выделенных на экологические цели, фактически используется для финансирования других направлений.

Следует подчеркнуть, что в Республике Армения были приняты концепции долгосрочных проектов и подготовки законодательной базы по реализации Парижского соглашения по климату (2015 г.) в рамках Рамочной конвенции ООН «Об изменении климата». Здесь отмечается: «Предварительные обязательства Армении, связанные с изменением климата (INDC), устанавливая на 2015–2050 гг. предел выбросов в 633 млн т или 5,4 т на душу населения и предполагают, что к 2050 г. площадь лесного покрова страны должна достичь 20 процентов» [8].

В области охраны окружающей среды изменение климата рассматривается как отдельная проблема и в связи с другими ее составляющими. Стратегическое направление перспективного развития РА на 2014–2025 гг. предусматривает внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий и мер, а также снижение выбросов загрязняющих веществ транспортом в Ереване и других населенных пунктах за счет развития общественного электротранспорта и других его видов с низким уровнем выбросов. Сокращение выбросов парниковых газов предполагается осуществить, прежде всего, за счет расширения производства энергии на основе возобновляемых источников, модернизации тепловых электростанций, повышения энергоэффективности, развития электротранспорта, сокращения выбросов метана из твердых бытовых отходов и сточных вод, восстановления лесов, а также облесения территории. Как и в других странах с переходной экономикой, выбросы парниковых газов в Армении сократились в 1990-е годы. К 2010 г. их выбросы были на 70 % ниже, чем в 1990 г. Энергоемкость в Армении остается высокой из-за больших потерь энергии и устаревшей энергетической инфраструктуры.

Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии в стране набирает темпы роста, обеспечивая около трети потребностей в электричестве. План действий в области возобновляемой энергетики (2011 г.) предполагает в долгосрочной перспективе увеличить долю возобновляемых источников энергии в общем производстве энергии до 16 %. Производство энергии на малых ГЭС, размещению которых благоприятствует гористая территория Армении, увеличилось после утверждения в 2010 г. Схемы развития малой энергетики.

В Концепции обеспечения энергетической безопасности анализируется потенциал энергетической системы Армении и ставится задача создания привлекательных условий для инвестиций в ее возобновляемые и альтернативные источники и атомную энергетику [8]. В настоящее время принята стратегическая «Нормативная правовая база государств-участников СНГ по реализации Парижского соглашения». К ней, в частности, относятся: Постановление Правительства Республики Армения № 197 от 30.01.2014 г. «Об утверждении разработки (проектирования) природоохранных программ», «Концепция развития гидроэнергетики Республики Армения», одобренная протокольным решением Правительства Республики Армения 53-36 от 29.12.2015 г.; программа «Пути долгосрочного (до 2036 г.) развития энергетической системы Республики Армения», решение № 54 Правительства Республики Армения от 10 декабря 2015 г.; «Инвестиционная программа строительства солнечных фотовольтаических электростанций», одобренная протокольным решением Правительства Республики Армения 53-37 от 29.12.2016 [8].

Согласно последнему Сообщению для РККК ООН, Республика Армения осуществляет меры по улучшению экологической обстановки в стране по следующим направлениям:

- *Лесное хозяйство.* В результате энергетического кризиса 1992–1995 гг. массовая незаконная рубка лесов привела к негативным последствиям относительно лесных экосистем. С 1998 г. в Армении осуществляется деятельность по восстановлению и охране лесов, планируется к 2050 г. увеличить лесные площади до 20,1 %. «Национальная лесная политика и стратегии» (2004 г.) и «Национальная лесная программа» (2005 г.) направлены на обеспечение сохранения, восстановления, естественного воспроизводства и рационального использования лесов.

- *Удаление твердых отходов.* Реализуемые в настоящее время в Армении программы направлены на повышение эффективности систем удаления твердых отходов. В частности, на полигоне отходов в Ереване внедряется система улавливания и сжигания свалочного газа в рамках Механизма чистого развития Киотского протокола.

- *Водные ресурсы и адаптация к изменению климата.* Климат в большинстве регионов страны, как правило, характеризуется жаркими и сухими погодными условиями. Согласно прогнозам, ненормированное использование водных ресурсов приведет к их дефициту как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. В последней Национальной программе действий по охране окружающей среды (2008 г.) Правительство Армении заявило, что предпримет необходимые шаги, чтобы присоединиться к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, а также обеспечить ратификацию ряда природоохранных соглашений в соответствии с национальным законодательством [9].

Следует отметить, что к настоящему времени РА присоединилась к Конвенции о биологическом разнообразии, Конвенции по сохранению европейской живой природы и естественных сред обитания,

Базельской конвенции по контролю за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением и Конвенции по оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте.

Заключение

Таким образом, Правительство Республики Армения на данный момент приняло ряд законодательно-правовых актов по улучшению экологической ситуации в стране. Основные экологические проблемы связаны с загрязнением воздуха, почвы и воды, а также опустыниванием и сокращением биоразнообразия. Необходимо подчеркнуть, что эффективность решения экологических вопросов обусловлена увеличением площадей лесных массивов, оптимальный уровень которых к 2050 г. должен составить 20,1 %. До 2025 г. в стране предусмотрена реализация проектов по внедрению энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий, снижающих загрязнение воздуха, переход на электротранспорт, а также создание условий для инвестирования в возобновляемые и альтернативные источники энергии.

Библиографические ссылки

1. Armenia's Third National Communication on Climate Change Yerevan [Internet]. 2015 [cited 2019 August 08]. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/armnc3>.
2. Проект аналитического разбора 18.09.2017 г. Приложение 5. [Интернет]. [Прочитано 23 июля 2019 г.]. Доступно по: http://energo-cis.ru/wyswyg/file/rgos/rgos_20170912/
3. Trading economics. [Internet]. 2015 [cited 14 May 2019]. Available from: <http://www.tradingeconomics.com/armenia/forest-area-sq-km-wb-data.html>.
4. Гичев ЮП. *Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека. Аналитический обзор*. Новосибирск: Государственная публичная научно-техническая библиотека; 2003. Выпуск 68. 138 с.
5. Социально-экономическое положение Республики Армения в январе-феврале 2005 г. Аналитический обзор. [Интернет]. 2004 [прочитано 14 июня 2019 г.]. Доступно по: https://www.armstat.am/file/article/sv_02_05r_58.pdf.
6. Геворкян З. Ереван: убивая экологию своими руками. [Интернет]. 2018 [прочитано 13 июня 2019 г.]. Доступно по: <http://golosarmenii.am/article/55964/erevan-ubivaya-ekologiyu-svoimi-rukami>.
7. Бойнагрян ВР. Загрязнение природной среды Республики Армения и оценка ее экологической безопасностью. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2013;2(41): 184–188.
8. Об участии государств-участников СНГ в Парижском соглашении по климату, принятом в рамочной конвенции «Об изменении климата». Аналитический обзор. [Интернет]. [Прочитано 2 сентября 2019 г.]. Доступно по: http://energo-cis.ru/wyswyg/file/rgos/RGOS_20170516-18/
9. Национальная программа действий по охране окружающей среды-2 Республики Армения. [Интернет]. 2008 [прочитано 11 августа 2019 г.]. Доступно по: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/arm152365>.

References

1. Armenia's Third National Communication on Climate Change Yerevan [Internet]. 2015 [cited 2019 August 08]. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/armnc3>.
2. Project of analytic review 18 09 2017. [Internet]. Application 5. [Cited 2019 July 23]. Available from: http://energo-cis.ru/wyswyg/file/rgos/rgos_20170912/
3. Trading economics. [Internet]. 2015 [cited 2019 May 14]. Available from: <http://www.tradingeconomics.com/armenia/forest-area-sq-km-wb-data.html>.
4. Gichev YuP. *Zagryaznenie okruzhayushchey sredy I ekologicheskaya obuslovennost patologii cheloveka. Analiticheskij obzor* [Environment pollution and ecology-related human pathology]. Novosibirsk: Gosudarstvennaya publichnaya nauchno-tehnicheskaya biblioteka; 2003. Issue 68. 138 p. Russian.
5. *Sotsialno-ekonomicheskoe polozhenie Respubliki Armeniya v yanvare-fevrale 2005 g. Analiticheskij obzor*. [Socio-economic situation of the Republic of Armenia in Januar-Februar 2005] [Internet]. [Cited 2019 June 14]. Available from: https://www.armstat.am/file/article/sv_02_05r_58.pdf.
6. Gevorkyan Z. *Erevan: ubivaya ekologiyu svoimi rukami* [Yerevan: killing ecology with own hands] [Internet]. 2018 [cited 2019 June 13]. Available from: <http://golosarmenii.am/article/55964/erevan-ubivaya-ekologiyu-svoimi-rukami>. Russian.
7. Boinagryan VR. *Zagryaznenie prirodnoi sredy Respubliki Armeniya i ocenka ee biologicheskoi bezopasnosti* [Environmental pollution of the Republic of Armenia and essensment of its environmental safety]. *Praci Odeskogo politechnogo universitetu*. 2013;2(41):184–188. Russian.
8. *Ob uchastii gosudarstv-uchastnirov SNG v Parizhskom soglashenii po klimatu, priniatom v ramochnoy konventsii OON "Ob izmenenii klimata"*. *Analiticheskij obzor* [On the participation of CIS countries in the Paris climate Agreement adopted in the UNO Framewor Convention on Climate Change] [Internet]. [Cited 2019 September 2]. Available from: http://energo-cis.ru/wyswyg/file/rgos/RGOS_20170.
9. *Natsionalnaya programma deistviy po okhrane okruzhayushchey sredy-2 Respubliki Armenia* [The second national environmental action programme of the Republic of Armenia] [Internet]. 2008 [cited 2019 August 11]. Available from: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/arm152365.pdf>.

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 574

ВЛИЯНИЕ ЛИАН РОДА *PARTHENOCISSUS* PLANCH. НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И ВЛАГОСТНЫЙ РЕЖИМ ПОДПОЛОГОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Н. Д. ГОЦИЙ¹⁾

¹⁾Национальный лесотехнический университет Украины,
ул. Генерала Чупрынки, 105, 79057, г. Львов, Украина

Использование древовидных лиан для вертикального озеленения городов вызывает дискуссии по поводу их негативного влияния на влагостный режим опоры. Цель нашей работы – изучение температурного и влагостного режима стен зданий и ограждений под пологом наиболее распространенных в г. Львове лиан рода *Parthenocissus* Planch. Проанализировано изменение относительной влажности опоры в сухую солнечную погоду и после длительных осадков. Результаты исследования свидетельствуют, что растительный покров оказывает положительное влияние на состояние строительных материалов стен и ограждений, выполняя защитную функцию.

Ключевые слова: девичий виноград; температурный режим; влагостный режим; тип опоры; растительное покрытие.

Благодарность. Выражаю благодарность профессору кафедры ландшафтной архитектуры, садово-паркового хозяйства и урбоэкологии В. П. Кучерявому за руководство научными исследованиями.

Образец цитирования:

Гоций НД. Влияние лиан рода *Parthenocissus* Planch. на температурный и влагостный режим подпологового пространства. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:20–28.

For citation:

Hotsii ND. The influence of the *Parthenocissus* Planch. genus on temperature and moisture conditions of the space under the canopy and support. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:20–28. Russian.

Автор:

Наталья Даниловна Гоций – инженер кафедры ландшафтной архитектуры, садово-паркового хозяйства и урбоэкологии.

Author:

Nataliya D. Hotsii, engineer at the department of landscape architecture, landscape gardening and urban ecology.
natali_gocij@ukr.net

THE INFLUENCE OF THE *PARTHENOCISSUS* PLANCH. GENUS ON TEMPERATURE AND MOISTURE CONDITIONS OF THE SPACE UNDER THE CANOPY AND SUPPORT

N. D. HOTSII^a

^aNational Forestry University of Ukraine,
105 General Chuprynky Street, Lviv 79057, Ukraine

The use of tree lianas for vertical greening in cities still causes discussions about their negative impact on the moisture regime of support. The aim of our work was to study the temperature and moisture conditions of the walls of buildings and fences under the canopy of the most common vines of the genus *Parthenocissus* Planch in Lviv. Changes in the relative humidity of the support in dry sunny weather and after long rainfall are analyzed. The results of the study showed that the vegetation cover has a positive effect on the state of building materials of walls and fences and performs a protective function.

Key words: virginia creeper; temperature regime; moisture regime; type of support; plant cover.

Acknowledgments. I express gratitude to the professor at the department of landscape architecture, landscape gardening and urban ecology V. P. Kucheryavyi for management and support in scientific research.

Введение

Зеленые фасады и «живые стены» являются современной мировой тенденцией в архитектуре [5–9]. Она связана с глобальными урбанизационными процессами и трансформацией городских ландшафтов.

Согласно данным справочников ООН [2], в 2010 г. в мире насчитывалось 511 городов-миллионников, а к 2025 г. их численность составит 639. По мнению современных урбанистов, до 2030 г. практически все население планеты будет сосредоточено в городах. В Украине урбанизационные процессы составляют 67 %: каждые два жителя из трех проживают в городах [2]. Такие тенденции заставляют ученых, архитекторов и экологов искать решение вопроса увеличения площади зеленых насаждений в условиях тотального расширения территорий с мертвой подстилающей поверхностью.

Население г. Львова составляет почти 758 тыс. чел.¹, но, по данным ОО «Большой Львов»², к 2020 г. его численность может вырасти на 250 тыс. чел. Учитывая большую вероятность, что он может пополнить число городов-миллионников, важнейшей задачей является создание комфортных условий проживания путем увеличения площади зеленых насаждений. В условиях чрезмерного уплотнения городской застройки посадка древесных и кустарниковых растений для озеленения будет постепенно сокращаться.

Решением данной проблемы может быть применение приемов вертикального озеленения. Положительное влияние лиан для городских территорий подтверждено многими учеными [1;3–9]. Следует отметить, что озеленение такими видами растений:

- повышает эстетический вид зданий и сооружений;
- увеличивает биоразнообразие;
- приводит к пылеудерживанию и биофильтрации [1];
- уменьшает шумовое загрязнение [4];
- уменьшает тепловое излучение [5];
- влияет на температуру помещения [6; 9];
- формирует благоприятный микроклимат [3];
- оказывает положительное психологическое воздействие;
- уменьшает затраты на отопление и кондиционирование помещений [6; 8; 9];
- увеличивает стоимость недвижимости.

Опыт успешного использования древесных лиан имеют ведущие страны мира. Так, например, в 1983 г. корпорация Kassel City в Германии провела кампанию по поощрению жителей города, использующих приемы вертикального озеленения. Ее результатом стало то, что только в Берлине с 1983 по 1997 г. было покрыто вьющимися растениями 245,584 м² стен [7].

Внедрение растительности на дома возможно тремя способами: зеленые крыши, зеленые стены или фасады (с использованием лиан) и «живые стены» – с использованием контейнерных конструкций

¹URL: http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/themes/99/theme_99.php?code=99

²URL: <http://prybutok.com.ua/8025/velykyi-lviv/>

(Living Wall System(LWS)). Наши исследования касаются создания зеленых фасадов с использованием лиан рода *Parthenocissus* Planch.

Несмотря на очевидные преимущества увеличения площадей зеленых насаждений с помощью вертикального озеленения, существует мнение относительно их негативного воздействия на здания [7]. Чаще всего эти предостережения касаются возможного повышения влажности стен и негативного механического воздействия на элементы конструкций. Доказательством безосновательности таких выводов служат примеры многолетнего использования древесных лиан в прибрежных регионах Великобритании, Англии и французской Нормандии с их влажным климатом. Во многих научных трудах, исследующих данную проблему в разных частях мира, ученые экспериментально доказывают положительное влияние растений на здания и сооружения [5–7]. Так, 30-летние исследования в Институте строительных технологий в Польше свидетельствуют, что структура штукатурки под слоем листьев лиан была лучше по сравнению с контролем и с тем, где была не покрытая растением стена [5]. Неоспоримым фактом является то, что большие перепады температуры и влажности являются причиной разрушения камня и других строительных материалов (выветривание горных пород в пустыне из-за значительных колебаний температуры в жаркие дни и холодные ночи). Профессор Варшавского института садоводства Яцек Боровски [5] на основе проведенных исследований утверждает, что слой листьев лианы уменьшает амплитуду колебаний температуры и влажности воздуха, благодаря чему строительные материалы, которыми покрыты стены, не поддаются разрушению. Если таковые процессы имеют место, то экспериментально доказано, что они начались раньше и не связаны с влиянием растения. Такие выводы сделаны также S. Woodell еще в 1979 г. [7]. Китайские ученые также опровергают мнение относительно негативного механического воздействия лиан на стены домов, которые прикрепляются с помощью присосок (*Parthenocissus* Planch.) или воздушных корней (*Hedera helix* L.). Они утверждают, что усики с присосками являются биологически активными всего несколько дней. Контакт эпидермиса усика с поверхностью вызывает выделение адгезивного вещества, прикрепляя его к стене. Выделение растением органических кислот и химические связи, которые могли бы быть причиной повреждений, действуют очень короткое время [5].

Температурный режим поверхности стен изучали ученые из Германии и США. И. Сусорова и др. [9] утверждают, что лиственный покров может уменьшить температуру стены на 13,1 °С, а Мария-Тереза Гольшер [8] – на 15,5 °С.

Влажный режим изучали Я. Боровски [5] и И. Сусорова [9]. Их исследования опровергают предположения о негативном влиянии лиан на опору. В течение года анализировались данные микроклимата у стены здания, покрытой древовидными лианами в условиях умеренного климата. Все вышеупомянутые авторы пришли к выводу, что применение лиан уменьшает амплитуду колебания температуры и влажности воздуха. Относительная влажность воздуха под лиственным покровом на 2–4 % выше по сравнению с непокрытым участком. Исключением являются только старые заброшенные стены, где применение такого рода лиан может ускорить процесс разрушения [5].

Цель наших исследований – изучение режима температуры и влажности стен зданий, которые покрыты лиственным слоем лиан рода *Parthenocissus* Planch. в г. Львове. Объектами исследований были дома и ограды, покрытые наиболее распространенными видами дикого винограда: девичим виноградом пятилисточковым (*Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch.), девичим виноградом пятилисточковым ф. Энгельмана (*P. q.* «Engelmanii» (Koehn. Et Graebn.) Rehd.) и девичим виноградом триостренным ф. Вичи (*Parthenocissus tricuspidata* «Veitchii» (Graebn.) Rehd.).

Материалы и методы исследования

Как следует из табл. 1, выбрано по 10 объектов исследования, на которых растут наиболее распространенные в г. Львове представители рода девичий виноград: *P. quinquefolia*, *P. quinquefolia* «Engelmanii» и *P. tricuspidata* «Veitchii».

Температуру и влажность опоры измеряли пирометром и влагомером на участках, покрытых и непокрытых лианами. Измерения проводили на высоте 1,5–2 м в трехкратной повторности. Относительную влажность измеряли в сухую солнечную погоду и после продолжительных осадков.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерения температуры опоры на покрытых и непокрытых лианой участках (табл. 2) показали, что для всех трех исследуемых таксонов наблюдается разница температурных данных опоры под лиственным слоем и на непокрытых участках.

Таблица 1

Объекты исследования температурного и влажностного режима опоры

Table 1

Objects of research of temperature and moisture conditions of the support

№ объекта	Адрес объекта	Экспозиция	Высота растения, м	Тип материала опоры	Тип опоры
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>					
1	ул. Мартовича, 6	Зп	6,0	кирпич, штукатурка	стена
2	ул. Зеленая	Юг-Зп	4,5	кирпич+камень облицовочный	подпорная стенка
3	пл. Соборная, 2а	Юг	2,5	кирпич, штукатурка	стена
4	ул. Валовая, 27	Юг-Вс	6,5	кирпич, штукатурка	стена
5	ул. Городецкая, 50	Юг	7,5	кирпич, штукатурка	стена
6	ул. Герцена, 4	Юг	6,0	кирпич, штукатурка	стена
7	ул. Я. Раппопорта	Юг	2,5	кирпич	ограждение
8	ул. Я. Мудрого	Юг-Вс	2,0	кирпич	ограждение
9	ул. Городецкая, 54	Юг	8,5	кирпич, штукатурка	стена
10	ул. Валовая, 19	Юг-Вс	5,5	кирпич, штукатурка	стена
<i>Parthenocissus quinquefolia «Engelmanii»</i>					
1	ул. Антоновича, 37	Св	12,0	кирпич	стена
2	ул. Природная	Юг-Вс	1,8	кирпич силикатный	ограждение
3	ул. Лычаковская, 219	Юг	3,5	кирпич, штукатурка	стена
4	ул. Драгоманова, 42	Юг-Вс	3,0	кирпич, штукатурка	ограждение
5	парк им. И. Франко	Зп	2,5	кирпич, штукатурка	стена
6	ул. Брюллова, 2	Юг	7,0	кирпич, штукатурка	стена
7	ул. Драгоманова, 29	Св	8,0	кирпич	стена дома
8	ул. Угорская, 14	Св	12,0	кирпич	стена
9	пл. Галицкая	Св-Вс	7,0	кирпич, штукатурка	стена
10	ул. Антоновича, 44	Юг	8,0	кирпич, штукатурка	стена
<i>Parthenocissus tricuspidata «Veitchii»</i>					
1	ул. Ефремова, 86	Юг-Вс	5,0	кирпич, штукатурка	стена
2	ул. Гординских, 17	Юг	1,6	кирпич силикатный	ограждение
3	ул. Антоновича, 22	Юг-Зп	15,0	кирпич	стена
4	ул. Острозкого, 6	Юг	9,0	кирпич	стена
5	ул. Тракт Глинянский	Юг-Вс	2,0	кирпич	ограждение
6	ул. Некрасова, 5	Юг	10,0	кирпич, штукатурка	стена
7	ул. Барвинских, 9	Св-Вс	7,0	кирпич	стена
8	ул. Левицкого, 8	Св, Вс, Юг	13,0	кирпич, штукатурка	стена
9	ул. Драгоманова, 46–46а	Юг-Вс	2,0	кирпич	ограждение, подпорная стенка
10	ул. Грабовского	Юг-Зп	8,0	кирпич	стена

Температурный и влагонный режим опор, покрытых лианами рода *Parthenocissus* Planch

Table 2

Temperature and humidity conditions of supports covered with species of the *Parthenocissus* Planch. genus

Адрес объекта исследования	Температура опоры, °С		Разница	Относительная влажность опоры (в сух погоду), %		Разница	Относительная влажность опоры (после длительных осадков), %		Разница
	под листовым покрытием	без листового покрытия		под листовым покрытием	без листового покрытия		под листовым покрытием	без листового покрытия	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>P. quinquefolia</i>									
ул. Мартовича, 6	23,4	27,3	4,0	36,5	34,6	1,9	40,9	54,0	13,1
ул. Зеленая	20,87	28,89	8,0	77,7	76	1,7	79,5	90,7	11,2
ул. Соборная, 2а	23,45	28,1	4,7	29,2	25,2	4	34,8	38	3,2
ул. Валовая, 27	22,25	26,8	4,6	31,2	26	5,2	37,6	41,3	3,7
ул. Горододская, 50	28,37	35,03	6,7	40,3	32	8,3	42,6	46,9	4,3
ул. Герцена, 4	24,53	36,08	11,6	31	28,6	2,4	31,2	34,7	3,5
ул. Я. Раппопорта	24,3	28,8	4,5	60,2	45,3	14,9	64,1	79,3	15,2
ул. Я. Мудрого	25,78	28,31	2,5	39,7	31,4	8,3	41,2	43,7	2,5
ул. Горододская, 54	29,77	34,43	4,7	30,8	29,4	1,4	33,7	35	1,3
ул. Валовая, 19	27,39	28,75	1,4	49,3	42,8	6,5	51,8	53,5	1,7
Среднее			5,3			5,5			6,0
<i>P. quinquefolia</i> «Engelmanii»									
ул. Антоновича, 37	19,26	21,49	2,2	35,4	25,6	9,8	37,5	38,6	1,1
ул. Природная	17,52	19,31	1,8	57,2	53,7	3,5	66,4	78,6	12,2
ул. Лычаковская, 219	23,5	27,1	3,5	59,7	50,5	9,3	64,5	70,4	5,9
ул. Драгоманова, 42	20,42	21,13	0,7	56,9	53,4	3,5	59,3	61,4	2,1
парк им. И. Франко	20,56	25,05	4,5	37,3	33,3	4	42,1	47	4,9
ул. Брюллова, 2	22,61	27,32	4,7	32,9	31,2	1,7	33,7	36,8	3,1
ул. Драгоманова, 29	18,89	21,46	2,6	33,9	24,7	9,2	36,8	39,3	2,5
ул. Угорская, 14	20,67	23,66	3,0	40,9	34,9	6	34,9	40,3	5,4
пл. Галицкая	21,87	25,26	3,4	35,8	31,4	4,4	39,7	44,1	4,4
ул. Антоновича, 44	21,59	30,16	8,6	33,1	30,5	2,6	35	37,1	2,1
Среднее			3,5			5,4			4,4
<i>P. tricuspidata</i> «Veichii»									
ул. Ефремова, 86	28,12	32,75	4,6	40,9	32,4	8,5	42,1	49,3	7,2
ул. Гординских, 17	19	22	3,0	36	33	3,0	45	68	23
ул. Антоновича, 22	24,81	29,75	4,9	35	26	9,1	35,3	37,6	2,4
ул. Острозкого, 6	28,72	38,5	9,8	26,7	25,7	1,0	27,9	30	2,1
ул. Тракт Глинянский	26,61	28,18	1,6	45,2	34,6	10,6	47,6	51,7	4,1

Окончание табл. 2
Ending table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ул. Некрасова, 5	22,43	29,88	7,5	37,8	33,1	4,7	39,4	41,5	2,1
ул. Барвинских, 9	18,71	22,14	3,4	37,5	32	5,5	38,1	42,5	4,4
ул. Левицкого, 8	16,3	19,3	3	76,8	47,6	29,2	82,4	92,5	10,1
ул. Драгоманова, 46–46а	21,63	22,41	0,8	37,1	34,6	2,5	38	45,2	7,2
ул. Грабовского (Цитадель)	24,88	31,11	6,2	32,7	29,8	2,9	34,9	38,4	3,5
Среднее			4,5			7,7			6,6

На рис. 1 (а, б, в) представлены графики разницы температурных показателей под лиственным покровом и на непокрытых участках стены. Номер объектов соответствует табл. 1.

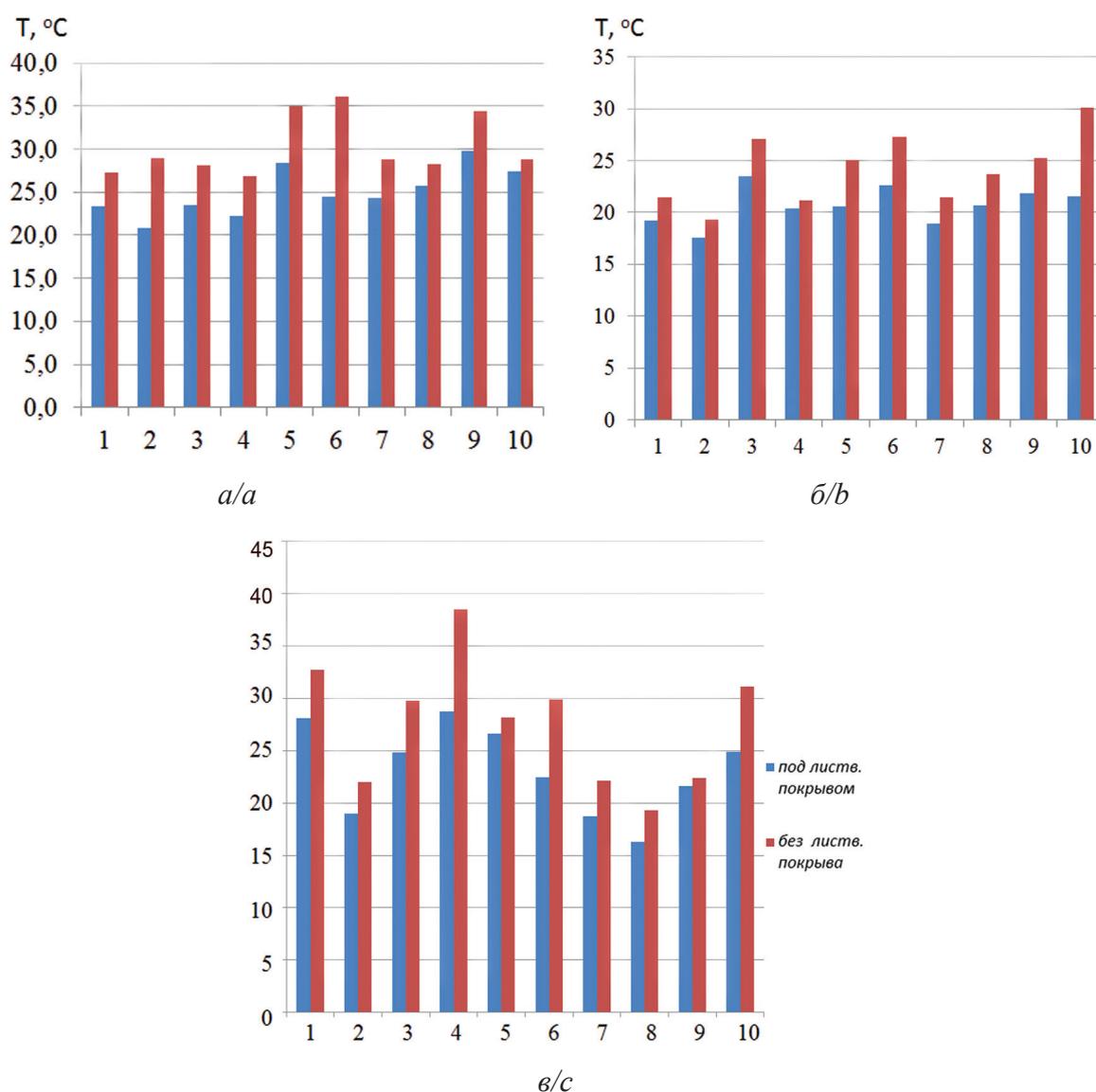


Рис. 1. Разница температуры опоры на покрытых и непокрытых лианами участках (а – *P. quinquefolia*, б – *P. quinquefolia* «Engelmannii», в – *P. tricuspidata* «Veichii»)

Fig. 1. The difference in the temperature of the support in the areas covered and uncovered by climbing plants (a – *P. quinquefolia*, b – *P. quinquefolia* «Engelmannii», c – *P. tricuspidata* «Veichii»)

Для *P. quinquefolia* разница температур составляет от 1,4 до 11,6 °С. Для *P. quinquefolia* «Engelmannii» она составляет 0,7–8,6 °С и для *P. tricuspidata* «Veichii» – 0,8–9,8 °С. Следует отметить, что разница температур зависит от следующих факторов:

- погодных условий в день измерения;
- времени суток осуществления измерения;
- экспозиции опоры.

Средняя разница для всех видов составляет 3,5–5,3 °С. Такие данные согласуются с литературными данными [5]. Однако на объектах южной экспозиции в солнечную погоду разница температурных показателей участков, покрытых и непокрытых девичьим виноградом, достигала 11,6 °С.

Между исследуемыми таксонами существенных различий не наблюдалось. Несколько выше разница температурных показателей у *P. quinquefolia*, что можно объяснить большей толщиной листового покрова (0,5–1,3 м) по сравнению с *P. quinquefolia* «Engelmannii» и *P. tricuspidata* «Veichii».

При визуальном обследовании объектов наблюдения повреждений штукатурки или избыточного увлажнения под листовым покрытием девичьего винограда не наблюдалось. Наоборот, состояние строительных материалов стены или ограждения визуально выглядели более сухими по сравнению с непокрытыми участками. Исключением был объект, на котором опора имеет существенные повреждения (трещины) и увеличенную влажность из-за неудовлетворительной гидроизоляции (кирпичный забор на ул. Я. Раппопорта). Здесь наличие растительного покрова ускоряет процесс разрушения. Такие выводы подтверждаются литературными данными [5; 6].

Графики разницы относительной влажности опоры на покрытых и непокрытых лианами рода *Parthenocissus* Planch. участках в солнечную погоду представлены на рис. 2 а, б, в.

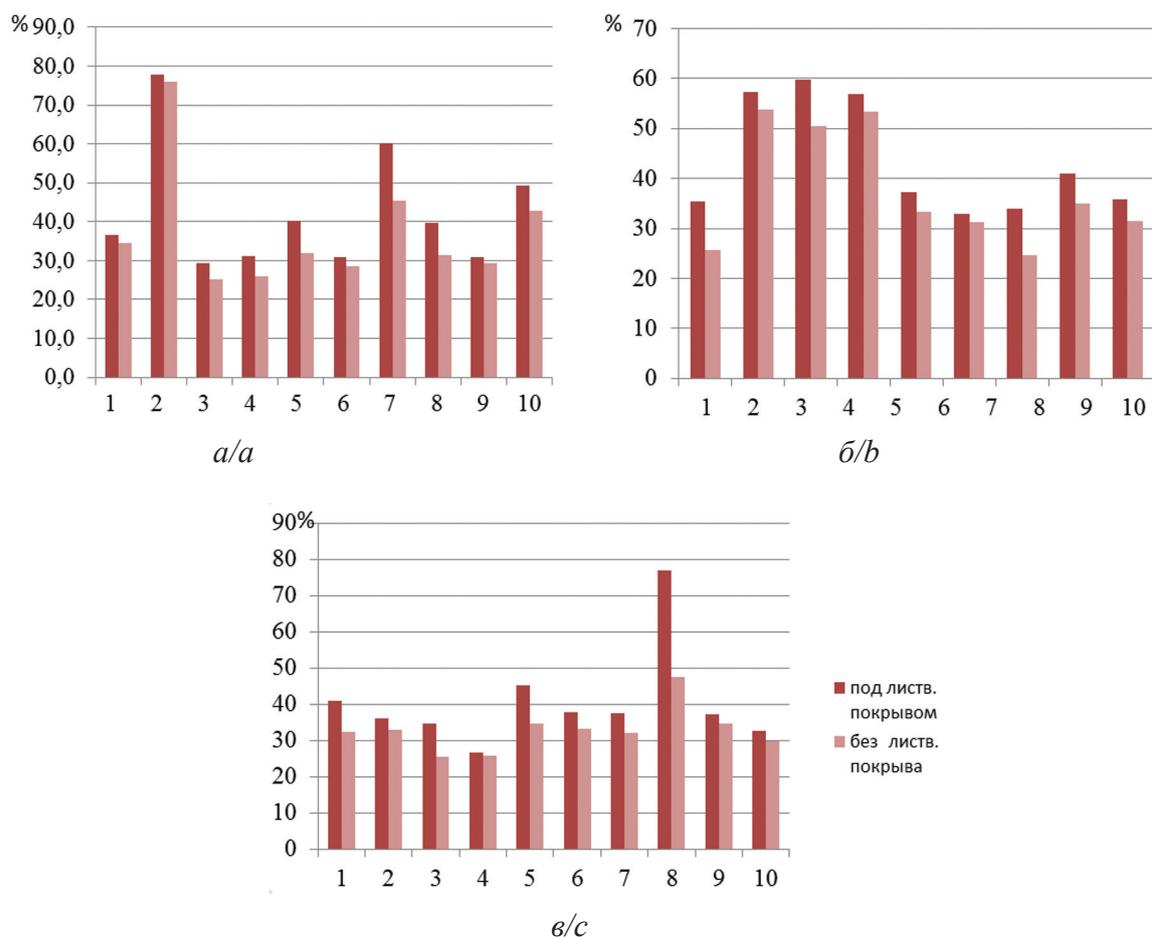


Рис. 2. Разница относительной влажности опоры на покрытых и непокрытых лианами участках (а – *P. quinquefolia*, б – *P. quinquefolia* «Engelmannii», в – *P. tricuspidata* «Veichii»)

Fig. 2. The difference in the relative humidity of the support in the areas covered and uncovered by climbing plants (a – *P. quinquefolia*, b – *P. quinquefolia* «Engelmannii», c – *P. tricuspidata* «Veichii»)

Показатели относительной влажности опоры в сухую солнечную погоду колебались от 1 % (ул. Острожского) до 29,2 % (ул. Левицкого). Относительная влажность стены под растительным покровом в среднем на 5,4–7,7 % выше по сравнению с непокрытым участком. Такие данные согласуются с литературными данными [9]. Значительная вариация наблюдалась только на тех объектах, которые отмечались плохой гидроизоляцией (ул. Левицкого, ул. Я. Раппопорта), или если строительным материалом опоры был силикатный кирпич (ул. Гординских, ул. Природная), а также участков с высокой способностью усваивать влагу из атмосферы.

Значительная вариабельность показателей относительной влажности опоры обусловлена разнородностью строительных материалов и зависит от многих факторов:

- типа опоры (стена дома, ограждение);
- строительного материала опоры (кирпич красный, силикатный, природный камень);
- наличия и типа штукатурки;
- наличия облицовочных материалов;
- качества гидроизоляции.

Разница в показателях для всех исследуемых видов под лиственным покровом и вне его в бездождевую погоду в целом небольшая. Несколько выше показатели наблюдаются для *P. tricuspidata* «Veichii».

Для понимания того, как влияют осадки на относительную влажность стены под лиственным покрытием дикого винограда после длительных дождей, были проведены повторные замеры.

Данные измерений свидетельствуют, что после продолжительных осадков показатели относительной влажности опоры под лианой изменяются по сравнению с показателями в бездождевую погоду. Так, относительная влажность под лиственным покрытием меньше по сравнению с открытыми участками в среднем на 6,0 % для *P. quinquefolia* и на 4,4 и 6,6 % для *P. quinquefolia* «Engelmanii» и *P. tricuspidata* «Veichii» соответственно.

Степень увеличения показателей относительной влажности после осадков также зависит от типа и материала опоры. На ограждениях из обычного керамического кирпича (ул. Тракт Глинянский, ул. Я. Мудрого) наблюдается меньший рост относительной влажности после осадков по сравнению с ограждением из силикатного кирпича (ул. Гординских, ул. Природная) или подпорной стенки, облицованной натуральным камнем (ул. Зеленая). Следует отметить, что наименьшая степень увлажнения осадками наблюдается на опоре из полнотелого керамического кирпича, изготовленного в начале прошлого века (ул. Драгоманова 46–46а). Такая же тенденция касается стен домов, построенных из вышеперечисленных типов кирпича. Существенно уменьшает степень роста относительной влажности опоры наличие современной водостойкой штукатурки (ул. Герцена, ул. Городецкая, ул. Валовая, 19, ул. Антоновича, 44). Наибольшей разницей показателей относительной влажности (29,2 %) отмечается объект наблюдения на ул. Левицкого, который находится во внутреннем дворике, на стене северной экспозиции с плохой гидроизоляцией, а также забор на ул. Я. Раппопорта (14,9 %). Такие данные подтверждают защитную функцию лиан рода *Parthenocissus* Planch. для всех видов опоры.

Заключение

Анализ температурного и влажностного режима опор, покрытых наиболее распространенными в г. Львове представителями рода *Parthenocissus* Planch. дают возможность сделать следующие выводы:

– Для трех исследуемых таксонов наблюдалась разница температурных показателей поверхности опоры на покрытых и непокрытых лианой участках. Под лиственным покровом температура поверхности ниже (разница составляет 0,7–11,6 °C).

– Снижение температуры поверхности стены зависит от густоты лиственного покрытия. *P. quinquefolia* отличается наиболее густым лиственным слоем (0,5–1,3 м), но *P. quinquefolia* «Engelmanii» и *P. tricuspidata* «Veichii» также эффективно защищают стену от перегрева за счет сплошного покрытия.

– Эффект снижения температуры опоры лианами мало зависит от экспозиции, но больше проявляется на опорах южной экспозиции (разница достигает 11,6 °C).

– Растения девичьего винограда предотвращают перегрев стен, создавая таким образом благоприятный микроклимат помещений.

– Относительная влажность опоры зависит от многих факторов: типа опоры, строительного материала, типа и состояния штукатурки, облицовочных материалов, качества гидроизоляции.

– Под пологом лиан относительная влажность опоры в бездождевую погоду в среднем на 5,4–7,7 % выше по сравнению с открытым участком для всех таксонов. Такое незначительное увеличение влажности под лиственным слоем свидетельствует о обоснованности мнения относительно негативного влияния лианы на влажностный режим стен.

– После продолжительных осадков относительная влажность под листовым покрытием меньше по сравнению с открытыми участками в среднем на 6,0 % для *P. quinquefolia*, а также на 4,4 и 6,6 % для *P. quinquefolia* «Engelmanii» и *P. tricuspidata* «Veichii» соответственно.

– Наименьший показатель относительной влажности наблюдается на стенах из полнотелого керамического кирпича довоенного производства и покрытых современной влагостойкой штукатуркой. Наиболее влагоемкими оказались опоры с плохой гидроизоляцией, а также из силикатного кирпича.

– Негативное влияние на состояние опоры лианы рода *Parthenocissus* Planch. могут иметь только в том случае, если стена имела повреждения (трещины, недостаточная прикреплённость штукатурки) до посадки растений.

Библиографические ссылки

1. Гоцїй НД. Пилезатримувальна здатність найпоширеніших ліан роду *Parthenocissus* Planch. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2019;29(1):45–48.
2. Климчик ОМ, Багмет АП, Данкевич ЄМ, Матковська СІ. *Екологія міських систем. Частина 1*. Житомир: Видавець О. О. Євенок; 2016. 460 с.
3. Калмыкова АЛ, Терешкин АВ. Изменение показателей микроклимата при использовании лиан в вертикальном озеленении г. Саратова. *Вестник Саратовского государственного аграрного университета*. 2008;3:20–23.
4. ЩербакOVA ОВ, Иванисова НВ, Куринская ЛВ. Шумозащитная роль вертикального озеленения на примере винограда девичьего (*Parthenocissus quinquefolia*). *Теоретические и прикладные аспекты современной науки*. 2015;7(1):155–158.
5. Borowski J. Czy pnącza niszczy elewacje? *Rocznik dendrologiczny* [Internet]. [Cited 2019 September 3]; 1996; 4: 67–65. Available from: <https://www.clematis.com.pl/informacje-o-roslinach/eksperci-radza/dr-hab-jacek-borowski/1133-czy-pnacza-niszczyczelewacje/>
6. Janiak J. Zieleń na elewacjach – problem czy korzyść dla budynku? *Acta Science Polish Architectura*. 2019;18(1):119–132. DOI: 10.22630/ASPA.2019.18.1.14.
7. Johnston J, Newton J. 2004. Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. [Internet] London: Greater London Authority; 2004 [cited 2019 September 3]. Available from: <https://brightonandhovebuildinggreen.files.wordpress.com/2017/07/johnstone-and-newton-building-green.pdf>.
8. Hoelscher M-T, Nehls T, Jänicke B, Wessolek G. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings* [Internet]. 2015;114:283–290 [cited 2019 September 3]. Available from: https://www.boden.tuberlin.de/fileadmin/fg77/_pdf/publikationen/Hoelscher_et_al_2015_ENB-2.pdf
9. Susorova I, Angulo M, Bahrami P, Stephens B. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment* [Internet]. 2013; 67:1–13 [cited 2019 September 3]. Available from: http://built-envi.com/publications/susorova_et_al_be_2013.pdf

References

1. Hotsii ND. *Pylezatorymuwalna zdastnist naiposhyrenishykh lian rodu Parthenocissus Planch.* [Dust detention role of the widespread species of *Parthenocissus* Planch. genus.]. *Naukovyi visnyk Natsional'nogo lisotekhnichnogo univertsyteta Ukrainy*. 2019;29(1):45–48. Ukrainian.
2. Klymchuk OM, Bahmet AP, Dankevych YeM, Matkovska SI. *Ekolohiia miskykh system. Chastyna 1* [Ecology of urban city systems]. Zhytomyr : Vydavets O. O. Yevenok; 2016. 460 p. Ukrainian.
3. Kalmykovab AL, Tereshkin AV. *Izmenenie pokazatelej mikroklimate pri ispol'zovanii lian v vertikal'nom ozelenenii g. Saratova.* [Change of microclimate values from use of vines and climbing plants in vertical greening of Saratov city]. *Vesnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. [Bulletin of the Saratov State Agrarian University]. 2008;3:20–23. Russian.
4. Shherbakova OV, Ivanisova NV, Kurinskaja LV. *Shumozashhitnaja rol' vertikal'nogo ozelenenija na primere vinograda devich'ego (Parthenocissus quinquefolia).* [Noise reducing role of climbing plants in vertical greening on Virginia creeper example]. *Teoreticheskiye i prykladnye aspekty sovremennoy nauki.* [Theoretical and applied aspects of modern science]. 2015; 7(1):155–158. Russian.
5. Borowski J. Czy pnącza niszczy elewacje? *Rocznik dendrologiczny* [Internet]. [Cited 2019 September 3]; 1996;4:67–65. Available from: <https://www.clematis.com.pl/informacje-o-roslinach/eksperci-radza/dr-hab-jacek-borowski/1133-czy-pnacza-niszczyczelewacje/> Polish.
6. Janiak J. Zieleń na elewacjach – problem czy korzyść dla budynku? *Acta Science Polish Architectura*. 2019;18(1):119–132. DOI: 10.22630/ASPA.2019.18.1.14.
7. Johnston J, Newton J. Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. [Internet] London: Greater London Authority; 2004 [cited 2019 September 3]. Available from: <https://brightonandhovebuildinggreen.files.wordpress.com/2017/07/johnstone-and-newton-building-green.pdf>.
8. Hoelscher M-T, Nehls T, Jänicke B, Wessolek G. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*. [Internet]. 2015;114:283–290 [cited 2019 September 3]. Available from: https://www.boden.tuberlin.de/fileadmin/fg77/_pdf/publikationen/Hoelscher_et_al_2015_ENB-2.pdf
9. Susorova I, Angulo M, Bahrami P, Stephens B. (2013) A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment* [Internet]. 2013;67:1–13 [cited 2019 September 3]. Available from: http://built-envi.com/publications/susorova_et_al_be_2013.pdf

Статья поступила в редколлегию 04.10.2019.
Received by editorial board 04.10.2019.

ДИНАМИКА ВИДОВОГО БОГАТСТВА ГНЕЗДЯЩИХСЯ ПТИЦ УРБОЭКОСИСТЕМ В ДОЛГОТНОМ ГРАДИЕНТЕ

В. В. САХВОН¹⁾

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

Анализируются особенности изменения видового богатства гнездящихся птиц в условиях городов в долготном градиенте. Проанализирована гнездовая орнитофауна 16 городов от западных границ Европы до европейской части России. Установлено, что видовое богатство гнездящихся птиц в урбоэкосистемах достигает максимальных значений в городах Центральной и Восточной Европы (146–151 видов), а минимальное – в самом западном (71 вид) и самом восточном (90 видов) из проанализированных населенных пунктов. В результате подробного сравнения орнитофаун Варшавы, Львова, Бреста, Воронежа и Оренбурга, располагающихся на разных географических долготгах, выявлено, что наблюдаемое варьирование видового богатства гнездящихся птиц связано с разнообразием региональных ландшафтов, окружающих населенные пункты, и, как следствие, структурой нативной орнитофауны, определяющей в свою очередь характер орнитонаселения городов. Основные различия в структуре городских орнитофаун при этом связаны с различным участием в гнездовом населении дендрофильной группы птиц, состав которой в свою очередь обусловлен зональностью древесной растительности.

Ключевые слова: орнитофауна; структура орнитофауны; городская орнитофауна; видовое богатство птиц; урбанизированная территория; город; синурбизация.

LONGITUDE PATTERNS IN BREEDING BIRD SPECIES RICHNESS IN CITIES

V. V. SAKHVON^a

^aBelarusian State University,
4 Nezaliežnasci Avenia, Minsk 220030, Belarus

This paper analyses changes in the breeding bird species richness in cities with alteration of geographical longitude. The study has analyzed the total breeding avifauna in 16 cities from Western Europe to European Russia. The study has found that the maximum richness of breeding bird species is observed in cities in Central and Eastern Europe (146–151 species), whereas the minimal – in the westernmost (71 species) and easternmost (90 species) cities. The study analyzed in detail the avifauna in Warsaw, Lviv, Brest, Voronezh, and Orenburg, which are situated in different longitudes, to confirm that the dynamics of the breeding bird species richness in urban areas are determined by the bird species diversity (native avifauna) in regional natural landscapes. The main differences in the structure of urban avifauna are connected with different participation of dendrophilic species in urban bird assemblages. The structure of dendrophilic species in urban bird assemblages is determined by the zonality of wood vegetation.

Key words: avifauna; structure of avifauna; urban birds; bird species richness; urban; city; synurbization.

Образец цитирования:

Сахвон ВВ. Динамика видового богатства гнездящихся птиц урбоэкосистем в долготном градиенте. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;4:29–35.

For citation:

Sakhvon VV. Longitude patterns in breeding bird species richness in cities. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;4:39–35. Russian.

Автор:

Виталий Валерьевич Сахвон – кандидат биологических наук, доцент; заместитель декана по учебно-воспитательной работе и социальным вопросам биологического факультета.

Author:

Vital V. Sakhvon, PDh (biology), docent; deputy dean for educational work and social issues, faculty of biology.
sakhvon@gmail.com

Введение

Урбоэкосистема представляет собой неустойчивую природно-антропогенную систему, состоящую из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем [1]. Организация ассамблей гнездящихся птиц на урбанизированных территориях определяется, как правило, следующими факторами: 1) пространственной структурой города (многообразием представленных в пределах его административных границ биотопов) и 2) видовым разнообразием нативной орнитофауны окружающих город ландшафтов [2–7]. При этом с расширением административных границ городов нередко происходит включение в их состав смежных естественных, хотя и зачастую в значительной степени нарушенных биотопов, что в свою очередь ведет к возрастанию видового богатства птиц урбоэкосистем [8].

Несмотря на значительное сходство орнитофаун крупных городов Европы прослеживается определенный рода закономерность в формировании гнездового населения птиц, выражающаяся в широтном изменении его количественных и качественных характеристик. При этом видовое богатство гнездящихся птиц достигает максимальных своих значений в Центральной и Восточной Европе (в городах Германии, Польши, Австрии, Чехии, Беларуси и, возможно, стран Прибалтики), а также в западных областях Европейской части России [6; 9]. В то же время о долготном векторе изменения структуры городской орнитофауны известно сравнительно мало [10], хотя такого рода данные необходимы для понимания особенностей формирования и функционирования ассамблей гнездящихся птиц в условиях урбоэкосистем, а также разработки мер по поддержанию и сохранению здесь их видового разнообразия.

Таким образом, цель данного исследования: установить особенности динамики видового богатства гнездящихся птиц на урбанизированных территориях в долготном градиенте и выявить факторы, ее определяющие.

Материалы и методы исследования

Выявление видового состава птиц на урбанизированных территориях в условиях Беларуси проводилось при многократных количественных учетах птиц в сезон гнездования с марта по август. В большинстве случаев применялся маршрутный метод учета гнездящихся птиц, который является наиболее оптимальным для выявления гнездовой орнитофауны с охватом всего многообразия биотопов в городах [11]. По результатам всех учетов были составлены списки гнездовой орнитофауны изученных городов. Исследования были проведены с небольшими перерывами и охватывали крупнейшие города Беларуси (2010–2019 гг.). Необходимые для анализа материалы по видовому богатству птиц отдельных городов европейского континента привлечены из соответствующих литературных источников [6; 12–13]. Всего для установления различий в видовом богатстве гнездового населения птиц на урбанизированных территориях в различных географических районах была проанализирована орнитофауна 16 городов в градиенте долгот от 2°35' з.д. (Бристоль, Англия) до 55°05' в. д. (Оренбург, Россия) (табл. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Крупные города, включающие широкий набор самых разнообразных местообитаний, благоприятных для птиц, характеризуются их наибольшим видовым богатством, составляющим, как правило, почти половину всей региональной гнездовой орнитофауны. Например, в Минске на гнездовании отмечено 110 видов птиц (46,8 % от всего количества гнездящихся видов орнитофауны Беларуси), в Бресте – 108 (45,9 %) [14], Витебске – 112 (47,6 %) [15].

Анализ имеющихся данных показал, что, помимо установленной ранее широтной смены видового богатства птиц в условиях урбоэкосистем [6], наблюдается изменение количества гнездящихся видов птиц и в долготном градиенте (рис. 1). Так, было выяснено, что видовое богатство гнездящихся птиц на урбанизированных территориях закономерно изменяется по мере продвижения с запада европейского континента на восток, достигая максимальных значений в Центральной и Восточной частях Европы (151 и 146 видов в Берлине и Варшаве соответственно), тогда как минимальное число гнездящихся видов отмечено в самом западном и самом восточном из проанализированных городов (Бристоль – 71 вид; Оренбург – 90 видов).

По своей пространственной структуре сравниваемые города весьма схожи между собой и включают разнотипные биотопы, благоприятные для обитания птиц различных экологических групп (водоемы, древесные насаждения и т. д.). Мы полагаем, что в данном случае основная причина наблюдаемой вариабельности в составе городских орнитофаун связана с различием в видовом разнообразии птиц естественных ландшафтов региона, формирующих ассамблеи гнездящихся птиц урбоэкосистем. Для подтверждения этого был проведен более подробный сравнительный анализ структуры орнитофаун отдельных городов с разным географическим расположением в градиенте географической долготы: Варшавы [16], Бреста [17; 18], Львова [19], Воронежа [20] и Оренбурга [21].

Таблица 1

Видовое богатство гнездящихся птиц в городах европейского континента

Table 1

Breeding bird species richness in cities in continental Europe

Город	Широта	Долгота	Количество населения (тыс. человек)	Площадь города (км ²)	Количество гнездящихся видов птиц
Англия					
Бристоль	51°27' сш	2°35' зд	428	110	71
Бельгия					
Брюссель	50°51' сш	4°20' вд	177	32,6	97
Германия					
Дюссельдорф	51°13' сш	6°46' вд	604	217,4	103
Дортмунд	51°30' сш	7°27' вд	580	280,4	114
Берлин	52°31' сш	13°24' вд	3470	891,8	151
Чехия					
Прага	50°05' сш	14°25' вд	1259	496	130
Польша					
Познань	52°24' сш	16°55' вд	542	261,8	96
Лодзь	51°45' сш	19°28' вд	701	293,2	123
Варшава	52°13' сш	21°00' вд	1735	517	146
Люблин	51°15' сш	22°34' вд	341	147	116
Украина					
Львов	49°50' сш	24°00' вд	723	182	100
Беларусь					
Брест	52°05' сш	23°41' вд	328	146,1	108
Гомель	52°26' сш	30°58' вд	508	135,3	93
Россия					
Воронеж	51°40' сш	39°11' вд	997	596,5	105
Саратов	51°32' сш	46°00' вд	838	394	96
Оренбург	51°46' сш	55°05' вд	555	259	90

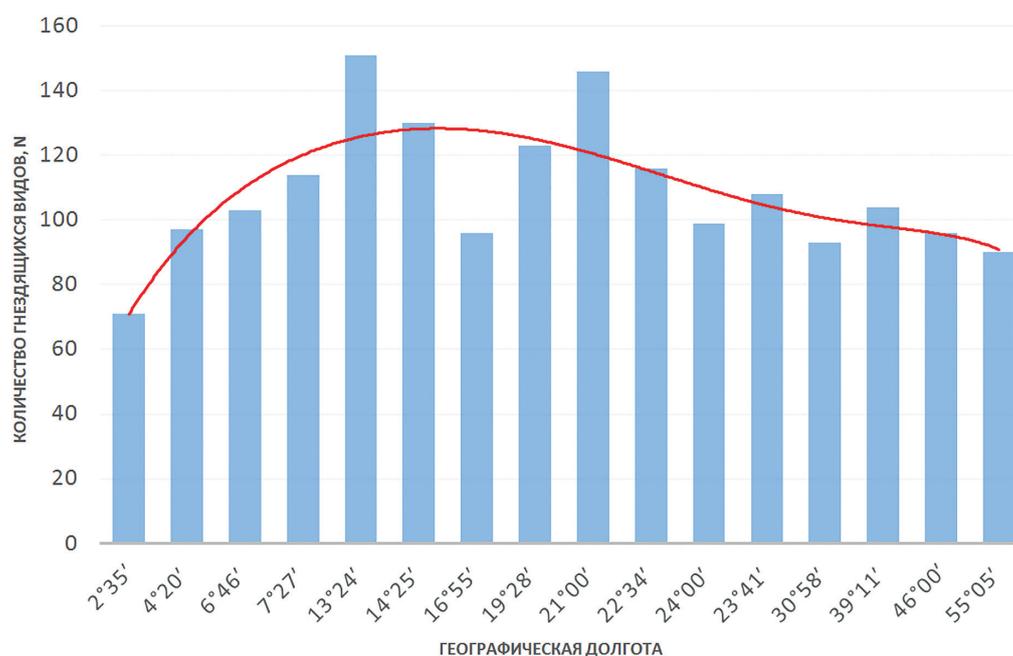


Рис. 1. Изменение видового богатства гнездящихся птиц в городах континентальной Европы в долготном градиенте

Fig. 1. Dynamics of breeding bird species richness in cities in continental Europe in relation to longitude

В результате было установлено, что города, располагающиеся географически относительно недалеко друг от друга, оказались весьма схожими между собой как по видовому богатству гнездящихся здесь птиц, так и по экологической структуре орнитонаселения (рис. 2, 3).

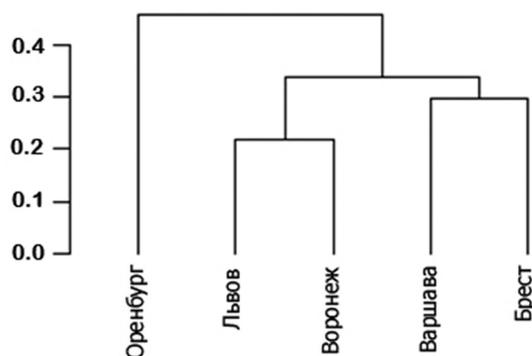


Рис. 2. Результаты кластерного анализа сходства гнездящейся орнитофауны городов, расположенных на разных географических долготах

Fig. 2. Results of cluster analyses of similarity of breeding avifauna in cities situated in different longitudes

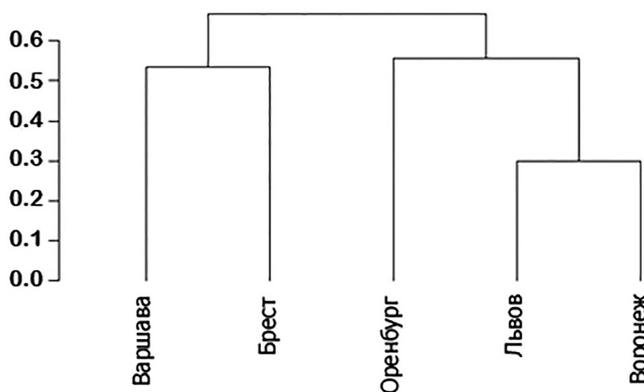


Рис. 3. Результаты кластерного анализа сходства экологической структуры (по типу местообитания) гнездящейся орнитофауны городов, расположенных на разных географических долготах

Fig. 3. Results of cluster analysis of ecological structure similarity (in terms of habitat preferences) of breeding avifauna in cities situated in different longitudes

Основу орнитофауны рассматриваемых городов составляют дендрофильные (доля от 38 % (Брест) до 52,4 % (Воронеж) всего количества видов) и водно-болотные и околородные виды птиц – от 18 % (Львов) до 30 % (Оренбург). Преобладание в урбозэкосистемах видов, экологически связанных с лесами различного типа, с одной стороны, является отражением в целом доминирующего положения птиц данной экологической группы на европейском континенте, с другой – объясняется широкой экологической пластичностью многих из них, позволяющей осваивать зеленые насаждения на городских территориях (табл. 2). К тому же древесные насаждения различного рода хорошо представлены в урбанизированном ландшафте и являются своего рода коридорами, по которым дендрофилы могут внедряться в города из естественных местообитаний, причем даже в центральные их районы.

В свою очередь, видовой состав птиц селитебных ландшафтов (синантропов) характеризуется сравнительным постоянством и варьирует незначительно между городами (от 16 до 18 видов, за исключением Оренбурга, границ которого ареалы некоторых видов-синантропов не достигают). Несущественное варьирование видового богатства свойственно и для экологической группы птиц открытых пространств, распространение которых, как и синантропов, в сравнительно меньшей степени зависит от характера окружающих ландшафтов, пространственной структуры самого города или его географического расположения. С учетом того, что водоемы являются интразональными биотопами, гнездование водно-болотных и околородных видов птиц также не носит строгой закономерной связи с географическим положением города, а определяется наличием пригодных для обитания птиц водоемов в его границах и протяженностью видовых ареалов, которые у птиц данной экологической группы обычно достаточно обширны.

Таблица 2

Сравнительная характеристика экологической структуры (по типу местообитания) гнездящейся орнитофауны городов, расположенных на разных географических долготях

Table 2

Comparative analysis of ecological structure (in terms of habitat preferences) of breeding avifauna in cities situated in different longitudes

Характеристика		Города				
		Варшава	Брест	Львов	Воронеж	Оренбург
Видовое богатство птиц, n		146	108	100	105	90
Экологическая структура населения по типу местообитания, (доля, %)	Дендрофильные	47,3	38,0	52,0	52,4	42,2
	Водно-болотные	24,7	29,6	18,0	19,0	30,0
	Открытых пространств	15,8	15,7	13,0	13,3	13,3
	Селитебных ландшафтов	12,3	16,7	17,0	15,2	14,4

Все это указывает на то, что дендрофильные виды вносят самый существенный вклад в различия структуры орнитофаун на урбанизированных территориях европейского континента, что связано напрямую с разнообразием лесных формаций в конкретном географическом регионе, и, как следствие, богатством сложившейся здесь нативной орнитофауны (табл. 3). Так, в условиях урбоэкосистем существенные различия в видовой структуре дендрофилов наблюдаются среди наиболее географически отдаленных городов, расположенных в разных геоботанических зонах (69 гнездящихся видов в Варшаве и 38 – в Оренбурге). Помимо этого зарегистрированы различия и в качественном составе птиц данной экологической группы между рассматриваемыми городами. Например, в Варшаве на гнездовании было отмечено 34 дендрофильных вида, не зарегистрированных в самом восточном из сравниваемых городов – Оренбурге, хотя 85,3 % этих видов имеют статус гнездящихся в данном регионе. В свою очередь, таких видов в Оренбурге насчитывается всего три, при этом два из них (тювик европейский (*Accipiter brevipes*) и бормотушка северная (*Iduna caligata*)) имеют ограниченный ареал, не достигающий такового на западе Варшавы. По всей видимости, в данном случае немаловажным фактором колонизации городов выступает способность тех или иных видов птиц к синурбизации в конкретном географическом регионе. Известно, что синурбизированные популяции птиц, адаптированные к условиям урбосреды, первично у большинства видов возникали на западе своего ареала [22]. С другой стороны, в городах, которые географически близки и располагаются в одной лесной зоне, наблюдается значительное сходство в видовом составе дендрофильных птиц. Например, гнездовая орнитофауна Варшавы включает 100 % дендрофилов, зафиксированных в Бресте.

Таблица 3

Степень сходства видового богатства птиц (по индексам Жаккара/ Серенсена–Чекановского) городов, расположенных на разных географических долготях (a – по участию дендрофильных видов; б – по участию водно-болотных и околоводных видов; в – по участию видов открытых ландшафтов; г – по участию видов селитебных ландшафтов)

Table 3

Similarity of breeding bird species richness (Jaccard index/Sørensen–Dice coefficient) in cities situated in different longitudes (a – species of woodland habitats; b – species of aquatic habitats; c – species of open habitats; d – synanthropic species)

	a/a				б/б			
	Варшава	Брест	Львов	Воронеж	Варшава	Брест	Львов	Воронеж
Брест	0,59/0,74	–	–	–	0,65/0,79	–	–	–
Львов	0,7/0,82	0,69/0,81	–	–	0,5/0,66	0,38/0,56	–	–
Воронеж	0,72/0,83	0,62/0,77	0,75/0,85	–	0,43/0,5	0,44/0,61	0,46/0,63	–
Оренбург	0,48/0,65	0,51/0,68	0,55/0,71	0,6/0,75	0,5/0,66	0,43/0,61	0,36/0,53	0,46/0,63

	в/с				з/д			
	Варшава	Брест	Львов	Воронеж	Варшава	Брест	Львов	Воронеж
Брест	0,73/0,85	–	–	–	1/1	–	–	–
Львов	0,56/0,72	0,66/0,8	–	–	0,94/0,97	0,94/0,97	–	–
Воронеж	0,42/0,59	0,47/0,64	0,68/0,81	–	0,88/0,94	0,88/0,94	0,94/0,96	–
Оренбург	0,45/0,62	0,52/0,68	0,56/0,72	0,52/0,69	0,72/0,83	0,72/0,83	0,76/0,86	0,81/0,89

Среди дендрофильных птиц сравниваемых городов наибольшие различия связаны с участием в орнитонаселении видов комплекса европейских широколиственных лесов (всего 39 таких видов; 52,7 %) и лесных палеарктов (22; 29,7 %) [23]. В частности, даже при объединении орнитофаун соседних в географическом плане Оренбурга и Воронежа и сравнении их с таковой Варшавы, итоговые различия связаны с отсутствием на гнездовании 7 видов птиц комплекса европейских широколиственных лесов и 8 – палеарктических лесов в городах России.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что видовое богатство гнездящихся птиц на урбанизированных территориях закономерно изменяется по мере продвижения с запада Европы к европейской части России, достигая максимальных значений в городах Центральной и Восточной Европы. Установленный долготный тренд в смене видового богатства птиц, гнездящихся на территориях крупных городов, обусловлен в первую очередь структурой естественных ландшафтов, окружающих урбоземосистемы. При этом формирование ассамблей гнездящихся птиц городов идет за счет видового разнообразия региональной орнитофауны, главным образом дендрофильной группы видов, состав которой определяется зональностью лесной растительности.

Библиографические ссылки

1. Гарицкая МЮ, Байтелова АИ, Чекмарева ОВ. *Экологические особенности городской среды*. Оренбург: Университет; 2012.
2. Tomiałojć L. Quantitative studies on the synanthropic avifauna of Legnica and its environs. *Acta ornithologica*. 1970;12:294–392.
3. Chamberlain DE, Cannon AR, Toms MP. Associations of garden birds with gradients in garden habitat and local habitat. *Ecography*. 2004;27:589–600. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03984.x.
4. Яблочкина НЛ, Блинова ТК. Структура орнитофауны населенных пунктов юга Западной Сибири. *Актуальные проблемы медицинской биологии*. 2002;4:142–143.
5. Сандакова СЛ. Особенности фауны птиц селитебных экосистем Внутренней Азии. *Вестник Бурятского госуниверситета*. 2009;4:160–172.
6. Ferenc M, Sedláček O, Fuchs R, et al. Are cities different? Patterns of species richness and beta diversity of urban bird communities and regional species assemblages in Europe. In: *Global Ecology and Biogeography*. 2013. p. 1–11. DOI: 10.1111/geb.12130.
7. Lepczyk CA, La Sorte FA, Aronson MFJ, et al. Global Patterns and Drivers of Urban Bird Diversity. In: Murgui E, Hedblom M, editors. *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments*. Cham: Springer; 2017. p. 13–33.
8. Fernández-Juricic E, Jokimäki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe. *Biodiversity Conservation*. 2001;10:2023–2043. DOI: 10.1023/A:1013133308987.
9. Сахвон ВВ. Изменчивость видового богатства гнездящихся птиц городов в градиенте географической долготы. В: *Процессы урбанизации и синантропизации птиц*. Сочи: ПресСто; 2018. с. 284–287.
10. Witt K, Mitschke A, Luniak M. A comparison of common breeding bird populations in Hamburg, Berlin and Warsaw. *Acta ornithologica*. 2005;40(2):139–146. DOI: 10.3161/068.040.0209.
11. Бибби К, Джонс М, Мардсен С. *Методы полевых экспедиционных исследований: Исследования и учеты птиц*. Москва: Союз охраны птиц России; 2000.
12. Табачишин ВГ, Завьялов ЕВ, Шляхтин ГВ. и др. Структура эколого-фаунистических комплексов населения птиц г. Саратова. *Беркут*. 1996;5(1):4–20.
13. Kelcey JG, Rheinwald G. *Birds in European cities*. Saint Katharinen: Ginster Verl.; 2005.
14. Абрамова ИВ. *Структура и динамика населения птиц экосистем юго-запада Беларуси*. Брест: Брестский государственный университет; 2007.
15. Кузменко ВВ., Кузменко ВЯ. Орнитофауна г. Витебска в системе биоразнообразия Белорусского Поозерья. *Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта*. 2012;67(1):35–46.
16. Luniak M, Kozłowski P, Nowicki W. Ptaki Warszawy 1962–2000. *Atlas Warszawy. Zeszyt 8*. Warszawa: PAN; 2001.
17. Гайдук ВЕ, Абрамова ИВ. *Экология птиц юго-запада Беларуси. Неворобьинообразные*. Брест: Брестский государственный университет; 2009.
18. Гайдук ВЕ, Абрамова ИВ. *Экология птиц юго-запада Беларуси. Воробьинообразные*. Брест: Брестский государственный университет; 2013.
19. Бокотей АА. Обзор орнитофауны Львова. *Беркут*. 1995;(1–2):3–13.

20. Нумеров АД, Венгеров ПД, Киселев ОТ. *Атлас гнездящихся птиц города Воронежа*. Воронеж: Издательство «Научная книга», 2013.
21. Фисун КВ. Состав и распределение авифауны г. Оренбурга. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2010;6(112):95–98.
22. Tomiałojć L. The urban population of the wood pigeon *Columba palumbus* Linnaeus, 1758 in Europe – its origin, increase and distribution. *Acta Zoologica Cracoviensia*. 1976;21:586–631.
23. Сазонов СВ. *Орнитофауна тайги Восточной Фенноскандии: исторические и зонально-ландшафтные факторы формирования*. Москва: Наука, 2004.

References

1. Garitskaya MYu, Bajtelova AI, Chekmareva OV. *Ekologicheskie osobennosti gorodskoy sredy* [Ecological features of the urban environment]. Orenburg: Universitet; 2012. Russian.
2. Tomiałojć L. Quantitative studies on the synanthropic avifauna of Legnica and its environs. *Acta ornithologica*. 1970;12:294–392.
3. Chamberlain DE, Cannon AR, Toms MP. Associations of garden birds with gradients in garden habitat and local habitat. *Ecography*. 2004;27:589–600. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03984.x.
4. Yablochkina NL., Blinova TK. Structure of the avifauna in settlements in the south of Western Siberia. *Aktualnye problemy meditsinskoj biologii* [Actual problems in medical biology]. 2002. P. 142–143. Russian.
5. Sandakova SL. Features of avifauna in settlements of Inner Asia. *Vestnik Buriatskogo gosudarstvennogo univrsiteta* [Vestnik Buryatskogo gosuniversiteta]. 2009;4:160–172. Russian.
6. Ferenc M, Sedláček O, Fuchs R, et al. Are cities different? Patterns of species richness and beta diversity of urban bird communities and regional species assemblages in Europe. *Global Ecology and Biogeography*. 2013. p. 1–11. DOI: 10.1111/geb.12130.
7. Lepczyk CA, La Sorte FA, Aronson MFJ, et al. Global Patterns and Drivers of Urban Bird Diversity. In: Murgui E, Hedblom M, editions. *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments*. Cham: Springer, 2017. p. 13–33.
8. Fernández-Juricic E, Jokimäki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe. *Biodiversity Conservation*. 2001;10:2023–2043. DOI: 10.1023/A:1013133308987.
9. Sakhvon VV. Variability in the species richness of urban breeding birds in the gradient of geographical longitude. *Protsessy urbanizatsii i sinantropizatsii ptits* [Urbanizatsiya i synantropizatsiya ptits]. Sochi: PressSto, 2018. p. 284–287. Russian.
10. Witt K, Mitschke A, Luniak M. A comparison of common breeding bird populations in Hamburg, Berlin and Warsaw. *Acta ornithologica*. 2005;40(2):139–146. DOI: 10.3161/068.040.0209.
11. Bibby C, Jones M, Marsden S. *Metody polevykh ekspeditsionnykh issledovaniy: issledovaniya i uchety ptits* [Expedition field techniques: bird surveys]. Moscow: Soyuz ohrany ptits Rossii, 2000. Russian.
12. Tabachishin VG, Zavyalov EV, Shlyakhtin GV, et al. Structure of the ecological and faunistic complexes of the bird populations of Saratov city. *Berkut*. 1996;5(1):4–20. Russian.
13. Kelcey JG, Rheinwald G. Birds in European cities. Saint Katharinen: Ginster Verl.; 2005.
14. Abramova IV. *Struktura i dinamika naseleniya ptits juga-zapada Belarusi* [Structure and dynamics of bird assemblages in eco-systems in south-western of Belarus]. Brest: Brestskiy gosudarstvennyy univrsitet; 2007. Russian.
15. Kuzmenko VV, Kuzmenko VY. Avifauna of Vitebsk city as part of biodiversity in Belarussian Poozerje. *Vesnik Vitebskaga dzjarzhunaga universiteta*. 2012;67(1):35–46. Russian.
16. Luniak M, Kozłowski P, Nowicki W. *Ptaki Warszawy 1962–2000. Atlas Warszawy. Zeszyt 8*. Warszawa: PAN; 2001. Polish.
17. Gajduk VE, Abramova IV. *Ekologiya ptits jugo-zapada Belarusi. Nevorob'injobraznye* [Bird's ecology in south- passerines. western of Belarus]. Brest: Brestskiy gosudarstvennyy univrsitet; 2009; Russian.
18. Gajduk VE, Abramova IV. *Ekologiya ptits jugo-zapada Belarusi. Vorob'injobraznye* [Bird's ecology in south-western of Belarus. Passerines]. Brest: Brestskiy gosudarstvennyy univrsitet; 2013. Russian.
19. Bokotej A.A. Avifauna of Lviv. *Berkut*. 1995;4(1–2):3–13. Russian.
20. Numerov AD, Vengerov PD, Kiselev OT. *Atlas gnezdjashchikhsa ptits goroda Voronezha* [Atlas of breeding birds of Voronezh]. Voronezh: Nauchnaya kniga; 2013. Russian.
21. Fisun KV. Composition and distribution of avifauna of Orenburg. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010;6(112):95–98. Russian.
22. Tomiałojć L. The urban population of the wood pigeon *Columba palumbus* Linnaeus, 1758 in Europe – its origin, increase and distribution. *Acta Zoologica Cracoviensia*. 1976;21:586–631.
23. Sazonov SV. *Ornitoфауна тайги Vostochnoy Fennoskandii: istoricheskie i zonalno landshfnye factory formirovania* [Avifauna of taiga in Eastern Fennoscandia: historical and zonal-landscape factors of organization]. Moscow: Nauka; 2004. Russian.

Статья поступила в редакцию 14.10.2019.
Received by editorial board 14.10.2019.

УДК 581.1:574.24581.1:574.24

ИНГИБИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ САЖЕНЦЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Е. Г. ТЮЛКОВА¹⁾

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

Представлены результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях саженцев одних из наиболее распространенных представителей древесных растений городской среды – березы повислой *Betula pendula* Roth. и тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. – в задаваемых условиях эксперимента. Установлено, что токсическое воздействие на пигменты березы повислой раствора о-ксилола и бенз(а)пирена проявлялось через одни сутки эксперимента; бутилацетата и смеси бутилацетата с о-ксилолом – через трое суток после обработки. Ответная реакция тополя пирамидального характеризовалась снижением содержания пигментов фотосинтеза через трое суток после введения всех используемых растворов. Максимальное изменение содержания пигментов в процессе эксперимента у березы повислой вызывало действие бутилацетата; тополя пирамидального – бенз(а)пирена. Наибольшее изменение в содержании пигментов по сравнению с контролем отмечено под действием о-ксилола и смеси бутилацетата с о-ксилолом у березы повислой, а у тополя пирамидального – под влиянием о-ксилола и бенз(а)пирена.

Ключевые слова: о-ксилол; бенз(а)пирен; бутилацетат; береза повислая *Betula pendula* Roth.; тополь пирамидальный *Populus pyramidalis* Roz.; фотосинтетические пигменты.

VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS INHIBITING EFFECT ON THE PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN WOODY PLANTS SEEDLINGS LEAVES

E. G. TULKOVA^a

^aBelarusian Trade-Economic University of Consumer Cooperation,
50 Kastychnika Avenue, Gomel 246029, Belarus

The article presents the results of determining the photosynthetic pigments content in the seedlings leaves of the most common representatives the urban environment tree plants – the hanging birch *Betula pendula* Roth. and poplar pyramidal *Populus pyramidalis* Roz. – in the given experimental conditions. It was established that the toxic effect on hanging birch pigments the o-xylene and benz (a) pyrene suspended solution manifested itself after one day of the experiment; butyl acetate and a mixture of butyl acetate with o-xylol – after three days treatment. The response of the pyramidal poplar was characterized by a decrease in the content of photosynthesis pigments after three days after the introduction of all the solutions used. The maximum change in the pigment content during the experiment in hanging birch caused the action of butyl acetate; pyramid poplar – benz (a) pyrene; and the greatest change in the pigment content

Образец цитирования:

Тюлькова Е.Г. Ингибирующий эффект летучих органических соединений на содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:36–44.

For citation:

Tulkova EG. Volatile organic compounds inhibiting effect on the photosynthetic pigments content in woody plants seedlings leaves. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:36–44. Russian.

Автор:

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

Author:

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

compared with the control was noted under the action of o-xylol and a mixture of butyl acetate with o-xylol in birch hanging, and in pyramidal poplar under the influence of o-xylol and benz (a) pyrene.

Key words: o-xylol; benz (a) pyrene; butyl acetate; drooping birch *Betula pendula* Roth.; pyramidal poplar *Populus pyramidalis* Roz.; photosynthetic pigments.

Введение

В настоящее время для отдельных промышленных предприятий Республики Беларусь характерно наличие в выбросах загрязняющих веществ преимущественно группы неметановых летучих органических соединений, в результате чего в атмосферу поступают алканы, циклоалканы, непредельные и ароматические углеводороды, спирты, сложные эфиры. Изучение влияния данной группы соединений на содержание пигментов фотосинтеза и интенсивность функционирования фотосинтетического аппарата растений, с одной стороны, является актуальным в целях сравнительного анализа степени их токсичности при одиночном и совместном воздействии [1–3], с другой – малоисследованным по сравнению с воздействием оксидов азота, углерода, серы, аммиака, сероводорода [4–11]. В этой связи целью работы явилось изучение характера изменения содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях саженцев березы повислой *Betula pendula* Roth. и тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. как наиболее распространенных представителей древесных растений городской среды при разных дозах воздействия о-ксилола, бенз(а)пирена, бутилацетата и их смеси в задаваемых условиях эксперимента.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований явились саженцы березы повислой *Betula pendula* Roth. и тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. – наиболее распространенных представителей древесных растений в городских условиях. Основная научная цель при постановке эксперимента по обработке саженцев ароматическими углеводородами и сложным эфиром заключалась в том, чтобы установить характер изменений содержания фотосинтетических пигментов, искусственно задавая определенные уровни поступления углеводородов в листовые пластинки. Следовательно, проведен сравнительный анализ состава фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений, обработанных различными дозами углеводородов (о-ксилолом, бенз(а)пиреном, бутилацетатом и их смесью) через определенные периоды времени после воздействия (через одни и трое суток).

Выбор органических соединений обусловлен преобладающим количеством группы данных веществ в выбросах отдельных промышленных предприятий г. Гомеля (ОАО «Гомельский завод литья и нормалей») по сравнению с другими загрязняющими элементами. Что касается бенз(а)пирена, то несмотря на невысокое наличие в выбросах предприятий теплоэнергетики (ТЭЦ-2), это соединение характеризуется высокой токсичностью в небольших количествах, а также недостаточной изученностью эффектов влияния на активность фотосинтетического аппарата растений. Наличие в эксперименте бенз(а)пирена как представителя полициклических ароматических углеводородов позволило также провести сравнительную оценку влияния на растительный организм много- и одноядерных ароматических углеводородов (о-ксилол).

Листовые пластинки саженцев обрабатывали водными растворами углеводородов. Использованные дозы углеводородов рассчитывались исходя из установленных для атмосферного воздуха предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ¹. В соответствии с нормативами ПДК ксилолов в атмосферном воздухе составляет 200 мкг/м³; бутилацетата – 100,0 мкг/м³; бенз(а)пирена – 5,0 нг/м³. Для всех соединений, кроме бенз(а)пирена, использовали величину максимальной разовой ПДК; для бенз(а)пирена – среднесуточную ПДК.

В качестве контроля использовали необработанные растения саженцев. Экспериментальными явились растения, обработанные водными растворами исследуемых соединений в следующих концентрациях: 0,0002–0,06 мкг/мл о-ксилола, 0,000005–0,0015 нг/мл бенз(а)пирена, 0,0001–0,03 мкг/мл бутилацетата (бутилового эфира уксусной кислоты). Обработка листовых пластинок саженцев осуществлялась путем опрыскивания водными растворами (по 50 мл водного раствора каждой дозы вводимого соединения).

Для выявления эффектов совместного воздействия исследуемых соединений использовали смесь следующих концентраций: 0,01 мкг/мл бутилацетата + 0,02 мкг/мл о-ксилола; 0,02 мкг/мл бутилацетата + 0,04 мкг/мл о-ксилола.

¹Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь «Об утверждении и введении в действие нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения» от 8.11.2016 № 113.

Для определения содержания хлорофиллов a , b и каротиноидов в листовых пластинках саженцев применялся спектрофотометр Shimadzu UV-2401 PC («Shimadzu», Япония). Содержание пигментов фотосинтеза определяли через одни и трое суток после обработки. Для экстракции фотосинтетических пигментов использовали навески листьев, сырая масса которых составляла 30–40 мг. Экстракцию хлорофиллов и каротиноидов производили 99,5 %-ным ацетоном в 3 биологических повторностях.

Содержание пигментов в экстрактах рассчитывали с помощью коэффициентов экстинкции, приведенных в работе [4] для соответствующего растворителя, по формулам 1–4:

$$C_a = 9,784D_{662} - 0,99D_{644} \quad (1), \quad C_b = 21,426D_{644} - 4,650D_{662} \quad (2),$$

$$C_a + C_b = 5,134D_{662} + 20,436D_{644} \quad (3), \quad C_k = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{a+b} \quad (4),$$

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

Для пересчета содержания фотосинтетических пигментов на сырую массу использовали сырую массу навесок листьев и объем полученного фильтрата пигментов. Содержание пигментов представлено в мг/г сырой массы.

С целью количественной оценки изменений содержания фотосинтетических пигментов проводили вычисления среднего значения разностей содержаний каждого фотосинтетического пигмента, измеренных через одни и трое суток эксперимента при обработке каждым из используемых соединений.

Достоверность различий между содержанием пигментов в экспериментальных и контрольных пробах оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Математическую обработку цифрового материала выполняли с помощью компьютерных программ *M. Excel* и *Statistica*.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях саженцев исследуемых древесных растений в условиях эксперимента по обработке углеводородами и их смесью представлены в табл. 1–4.

Таблица 1

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений в условиях эксперимента после обработки о-ксилолом

Table 1

The content of photosynthetic pigments in wood plants seedlings leaves in the experiment after treatment with o-xylol

Концентрация раствора о-ксилола, мкг/мл	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сырой массы					
	береза повислая <i>Betula pendula</i> Roth.			тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.		
	хлорофилл a	хлорофилл b	каротиноиды	хлорофилл a	хлорофилл b	каротиноиды
через одни сутки после обработки						
контроль	1,54±0,07	0,56±0,03	0,98±0,04	1,61±0,06	0,60±0,02	1,07±0,05
0,0002	1,26±0,05*	0,46±0,01*	0,80±0,04*	1,52±0,07*	0,56±0,01*	0,97±0,05*
0,01	1,20±0,06*	0,43±0,02*	0,78±0,03*	1,29±0,05*	0,42±0,01*	0,74±0,03*
0,02	1,13±0,04*	0,38±0,02*	0,71±0,04*	1,15±0,06*	0,40±0,02*	0,72±0,03*
0,04	1,10±0,05*	0,37±0,02*	0,70±0,03*	1,07±0,04*	0,37±0,02*	0,70±0,02*
0,06	1,08±0,04*	0,37±0,01*	0,67±0,02*	0,77±0,03*	0,30±0,01*	0,53±0,02*
через трое суток после обработки						
контроль	1,76±0,08	0,64±0,03	1,08±0,05	1,47±0,06	0,52±0,03	0,93±0,05
0,0002	1,31±0,06*	0,47±0,02*	0,85±0,04*	0,34±0,06*	0,45±0,02*	0,81±0,04*
0,01	1,25±0,05*	0,43±0,01*	0,80±0,04*	0,25±0,05*	0,44±0,01*	0,76±0,04*
0,02	1,19±0,06*	0,43±0,02*	0,76±0,03*	0,76±0,04*	0,27±0,01*	0,49±0,02*
0,04	1,18±0,06*	0,39±0,02*	0,72±0,03*	0,72±0,04*	0,24±0,01*	0,48±0,02*
0,06	1,04±0,04*	0,35±0,02*	0,64±0,02*	0,65±0,03*	0,24±0,01*	0,42±0,01*

Примечание. Здесь и далее в табл. 2–4 достоверные значения содержания фотосинтетических пигментов при $p \leq 0,05$ обозначены (*).

Данные табл. 1–4 свидетельствуют о том, что обработка листовых пластинок о-ксилолом, бенз(а)пиреном, бутилацетатом и их смесью в большинстве случаев явилась причиной снижения содержания фотосинтетических пигментов по сравнению с контрольными значениями. Так, под действием о-ксилола

наблюдалось снижение содержания всех изученных пигментов в листьях саженцев *Betula pendula* Roth. в 1,43–1,50 раза через одни сутки и в 1,68–1,84 раза через трое суток по сравнению с контрольными пробами (табл. 1). У *Populus pyramidalis* Roz. воздействие о-ксилола вызвало более резкое снижение содержания фотосинтетических пигментов: в 2,0–2,09 раза через одни сутки после обработки; в 2,20–2,26 раза – через трое суток эксперимента, что возможно явилось следствием анатомических особенностей строения листа. Эти особенности проявляются в виде наличия у тополя пирамидального плотных листьев с сосудистой системой сетевой формы в виде одной доминирующей жилки, от которой отходят вторичные сосудистые пучки, что, с одной стороны, позволяет ему эффективно улавливать и сохранять значительное количество частиц из атмосферы, а с другой – обеспечивает устойчивость по отношению к атмосферным загрязнителям.

Несмотря на наличие сведений об одном из самых сильных токсических эффектов воздействия бенз(а)пирена на живые организмы, в наших исследованиях этот полициклический ароматический углеводород не всегда характеризовался самым интенсивным отрицательным влиянием на содержание пигментов фотосинтеза в процессе эксперимента. Так, у березы повислой через одни сутки после обработки наблюдалось снижение содержания пигментов в 1,33–1,6 раза по сравнению с контролем, через трое суток – в 1,13–1,6 раза: по сравнению с о-ксилолом через трое суток влияние бенз(а)пирена на листья саженцев березы повислой было менее интенсивным (табл. 2). Тополь пирамидальный, аналогично воздействию о-ксилола, характеризовался более резким снижением содержания пигментов по сравнению с березой повислой: в 1,48–1,61 раза через одни сутки после обработки; в 2,47–2,66 раза – через трое суток эксперимента. В данном случае через трое суток воздействие бенз(а)пирена, по сравнению с другими использованными соединениями, на листья саженцев, в наших исследованиях было максимальным.

Таблица 2

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений в условиях эксперимента после обработки бенз(а)пиреном

Table 2

The content of photosynthetic pigments in woody plants seedlings leaves in the experiment after treatment with benz (a) pyrene

Концентрация раствора бенз(а)пирена, нг/мл	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сырой массы					
	береза повислая <i>Betula pendula</i> Roth.			тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.		
	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
через одни сутки после обработки						
Контроль	1,54±0,07	0,56±0,03	0,98±0,04	1,61±0,06	0,60±0,02	1,07±0,05
0,000005	1,59±0,02*	0,56±0,02	1,02±0,02*	1,31±0,07*	0,45±0,01*	0,86±0,04*
0,00025	1,42±0,06*	0,55±0,03	0,90±0,04*	1,26±0,06*	0,44±0,01*	0,84±0,04*
0,0005	1,38±0,05*	0,53±0,01*	0,87±0,03*	1,19±0,06*	0,43±0,02*	0,80±0,03*
0,001	1,34±0,06*	0,50±0,01*	0,81±0,03*	1,15±0,05*	0,41±0,02*	0,77±0,03*
0,0015	1,14±0,04*	0,35±0,02*	0,73±0,03*	1,08±0,04*	0,37±0,01*	0,72±0,03*
через трое суток после обработки						
Контроль	1,76±0,08	0,64±0,03	1,08±0,05	1,47±0,06	0,52±0,03	0,93±0,05
0,000005	1,81±0,09*	0,71±0,04*	1,14±0,06*	1,06±0,05*	0,41±0,02*	0,67±0,03*
0,00025	1,71±0,03*	0,67±0,02*	1,05±0,02*	0,82±0,04*	0,31±0,01*	0,53±0,03*
0,0005	1,65±0,06*	0,60±0,02*	1,02±0,04*	0,79±0,04*	0,30±0,01*	0,52±0,03*
0,001	1,62±0,07*	0,55±0,02*	0,99±0,03*	0,75±0,03*	0,26±0,01*	0,48±0,02*
0,0015	1,55±0,05*	0,40±0,01*	0,95±0,02*	0,55±0,02*	0,21±0,01*	0,38±0,01*

Согласно данным статистической отчетности, за последние годы происходит резкое увеличение выбросов бутилацетата в атмосферный воздух в результате деятельности отдельных промышленных предприятий Республики Беларусь. Результатом влияния этого соединения явилось достоверное снижение содержания всех исследуемых фотосинтетических пигментов (по сравнению с контролем) через одни сутки после обработки саженцев березы повислой только при воздействии растворов бутилацетата с концентрацией 0,02 мкг/мл и 0,03 мкг/мл действующего вещества (табл. 3).

Через трое суток после воздействия бутилацетата растворы с концентрацией 0,0001 мкг/мл и 0,005 мкг/мл вызывали незначительные изменения в содержании пигментов березы повислой, которые для хлорофилла *b* и каротиноидов были недостоверными; остальные дозы бутилацетата вызывали достоверное снижение содержания пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольным значением.

Итак, в результате действия бутилацетата наблюдалось снижение содержания пигментов в листьях саженцев *Betula pendula* Roth. в 1,14–1,32 раза через одни сутки и в 1,42–1,64 раза через трое суток по сравнению с контрольными пробами, что свидетельствует о самом незначительном влиянии одиночных соединений на березу повислую через одни сутки в условиях проведенного эксперимента и более сильным, по сравнению с бенз(а)пиреном, влиянии через трое суток после обработки одиночными соединениями. Что касается *Populus pyramidalis* Roz., то под влиянием данного эфира на пигментный состав листьев содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов снизилось в 1,54–2,06 раза через одни сутки эксперимента и в 1,7–1,78 раз – через трое суток, что явилось самым незначительным воздействием на тополь пирамидальный через трое суток эксперимента с одиночными растворами соединений.

Таблица 3

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений в условиях эксперимента после обработки бутилацетатом

Table 3

The content of photosynthetic pigments in woody plants seedlings leaves in the experiment after treatment with butyl acetate

Концентрация раствора бутилацетата, мкг/мл	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сырой массы					
	береза повислая <i>Betula pendula</i> Roth.			тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.		
	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
через одни сутки после обработки						
контроль	1,54±0,07	0,56±0,03	0,98±0,04	1,61±0,06	0,60±0,02	1,07±0,05
0,0001	1,67±0,07*	0,64±0,03*	1,05±0,05*	1,48±0,07*	0,52±0,02*	1,0±0,04*
0,005	1,58±0,03*	0,63±0,02*	0,97±0,04	1,23±0,05*	0,46±0,02*	0,79±0,04*
0,01	1,53±0,06	0,60±0,02*	0,96±0,04	1,13±0,05*	0,44±0,01*	0,74±0,03*
0,02	1,43±0,05*	0,50±0,02*	0,93±0,02*	1,10±0,06*	0,41±0,01*	0,72±0,03*
0,03	1,35±0,05*	0,42±0,01*	0,85±0,03*	1,04±0,04*	0,37±0,01*	0,52±0,02*
через трое суток после обработки						
контроль	1,76±0,08	0,64±0,03	1,08±0,05	1,47±0,06	0,52±0,03	0,93±0,05
0,0001	1,73±0,03*	0,63±0,02	1,08±0,05	1,21±0,05*	0,43±0,02*	1,63±0,04*
0,005	1,73±0,02*	0,62±0,03	1,07±0,04	1,10±0,05*	0,40±0,02*	0,53±0,04*
0,01	1,47±0,06*	0,53±0,02*	0,90±0,03*	0,95±0,04*	0,39±0,02*	0,34±0,03*
0,02	1,33±0,05*	0,42±0,01*	0,83±0,03*	0,91±0,04*	0,33±0,01*	0,24±0,03*
0,03	1,23±0,06*	0,39±0,02*	0,76±0,03*	0,86±0,04*	0,30±0,01*	0,17±0,02*

По причине того, что выбросы промышленных предприятий характеризуются содержанием множества техногенных элементов или соединений, для изучения характера сочетанного действия органических соединений на пигментный аппарат саженцев нами был проведен эксперимент с использованием смеси бутилацетата с о-ксилолом, наличие которой характерно для выбросов рассматриваемого промышленного предприятий (ОАО «Гомельский завод литья и нормалей»).

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о наличии видовых различий адаптивных механизмов саженцев к действию о-ксилола и бутилацетата по отдельности и совместно (табл. 4).

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что в результате действия смеси бутилацетата с о-ксилолом наблюдалось снижение содержания пигментов в листьях саженцев березы повислой *Betula pendula* Roth. в 1,18–1,20 раза через одни сутки и в 1,36–1,53 раза через трое суток по сравнению с контрольными пробами. Для тополя пирамидального содержание фотосинтетических пигментов снизилось в 1,56–1,62 раза через одни сутки эксперимента и в 1,52–1,66 раза – через трое суток (более резко по сравнению с березой повислой).

Как уже отмечалось, влияние раствора о-ксилола без сочетания с бутилацетатом приводило к более резкому снижению содержания пигментов в листьях экспериментальных саженцев древесных растений по сравнению с эфиром.

Обработка листовых пластинок саженцев экспериментальных древесных растений смесью бутилацетата с о-ксилолом приводила к ослаблению отрицательного воздействия о-ксилола на количество пигментов, за исключением тополя пирамидального, через одни сутки после воздействия. В этом случае через одни сутки после обработки смесью в максимальной дозе наблюдалось усиление токсического эффекта о-ксилола на содержание хлорофилла *a* и каротиноидов по сравнению с использованием раствора только одного этого соединения.

Таблица 4

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений
в условиях эксперимента после обработки смесью бутилацетата с о-ксилолом

Table 4

The content of photosynthetic pigments in woody plants seedlings leaves
in the experiment after treatment with a mixture of butyl acetate and o-xylol

Варианты опыта	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сырой массы					
	береза повислая <i>Betula pendula</i> Roth.			тополь пирамидальный <i>Populus pyramidalis</i> Roz.		
	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
через одни сутки после обработки, смесь бутилацетат +о-ксилол						
контроль	1,54±0,07	0,56±0,03	0,98±0,04	1,61±0,06	0,60±0,02	1,07±0,05
0,01 мкг/мл +0,02 мкг/мл	1,56±0,08	0,57±0,03	0,98±0,05	1,29±0,05*	0,43±0,02*	0,99±0,05*
0,02 мкг/мл +0,04 мкг/мл	1,28±0,05*	0,47±0,01*	0,81±0,04*	1,03±0,05*	0,38±0,02*	0,66±0,03*
через трое суток после обработки, смесь бутилацетат +о-ксилол						
контроль	1,76±0,08	0,64±0,03	1,08±0,05	1,47±0,06	0,52±0,03	0,93±0,05
0,01 мкг/мл +0,02 мкг/мл	1,45±0,07*	0,43±0,02*	0,90±0,04*	1,14±0,05*	0,35±0,02*	0,85±0,04*
0,02 мкг/мл +0,04 мкг/мл	1,28±0,05*	0,42±0,02*	0,79±0,03*	0,97±0,04*	0,31±0,01*	0,56±0,02*

Последствия введения о-ксилола в смеси с бутилацетатом в указанных дозах характеризовались видвыми различиями ответных реакций пигментного аппарата саженцев по сравнению с действием только раствора бутилацетата и отличались с течением времени эксперимента. Так, использование максимальной дозы смеси приводило к усилению негативного влияния бутилацетата и снижению содержания всех пигментов в листьях березы повислой и тополя пирамидального через одни сутки эксперимента. Минимальная доза смеси, напротив, приводила к ослаблению отрицательного воздействия бутилацетата на содержание хлорофилла *a* и каротиноидов используемых саженцев древесных растений через одни сутки эксперимента. По истечении трех суток после обработки смесью у березы повислой наблюдалось увеличение токсического эффекта бутилацетата на содержание пигментов во всех дозах, а у тополя пирамидального – снижение, за исключением количества хлорофилла *b*.

Достоверность различий между содержанием фотосинтетических пигментов в листовых пластинках экспериментальных и контрольных растений, а также экспериментальных растений через одни и трое суток обработки оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

Результаты анализа свидетельствуют о наличии достоверных различий между выборками контрольных и экспериментальных значений количества пигментов ($F_{\text{факт.}}(1, 6) = 6,75 \div 26,17$ для березы повислой; $F_{\text{факт.}}(1, 6) = 9,34 \div 100,35$ для тополя пирамидального; $F_{\text{критич.}}(1, 6) = 5,99$ при $p \leq 0,05$). Исключение составили следующие варианты опыта: через одни сутки у березы повислой – при обработке раствором бенз(а)пирена с концентрацией 0,000005 нг/мл и 0,00025 нг/мл (хлорофилл *b*); 0,01 мкг/мл раствором бутилацетата (хлорофилл *a*, каротиноиды); 0,005 мкг/мл раствором бутилацетата (каротиноиды); 0,01 мкг/мл бутилацетата + 0,02 мкг/мл о-ксилола (все пигменты). Через трое суток у березы повислой недостоверными явились отличия от контрольных образцов проб пигментов при обработке раствором бутилацетата с концентрацией 0,0001 мкг/мл и 0,005 мкг/мл (хлорофилл *b*, каротиноиды). Таким образом, количество недостоверных различий между экспериментальными и контрольными пробами у саженцев березы повислой составило 10 % вариантов сравнений с контролем при обработке одиночными реагентами и 25 % – при обработке смесью. Кроме того, недостоверные различия в большинстве вариантов опыта с саженцами березы повислой наблюдались при обработке одиночными соединениями (бенз(а)пиреном и бутилацетатом) и были характерны для проб, обработанных бутилацетатом. В случае использования смеси все недостоверные различия отмечались через одни сутки после обработки. Для тополя пирамидального недостоверные различия между контролем и экспериментальными пробами отмечены не были.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа выборок содержания пигментов через одни и трое суток после обработки позволили установить достоверность их различий ($F_{\text{факт.}} = 6,61 \div 145,87$; $F_{\text{критич.}}(1, 6) = 5,99$ при $p \leq 0,05$). Исключения наблюдались в следующих случаях: у березы повислой при обработке раствором о-ксилола с концентрацией 0,0002 мкг/мл, 0,01 мкг/мл, 0,04 мкг/мл и 0,06 мкг/мл для хлорофилла *b*; 0,01 мкг/мл и 0,04 мкг/мл о-ксилола для каротиноидов; 0,0001 мкг/мл и 0,005 мкг/мл бутилацетата для хлорофилла *b* и каротиноидов; смеси 0,02 мкг/мл бутилацетата +0,04 мкг/мл о-ксилола для хлорофилла *a* и каротиноидов. У тополя пирамидального были отмечены следующие недостоверные

отличия между содержанием пигментов через одни и трое суток после обработки: для хлорофилла *b* и каротиноидов при обработке раствором *o*-ксилола с концентрацией 0,01 мкг/мл; 0,005 мкг/мл и 0,03 мкг/мл бутилацетата для каротиноидов. Итак, количество недостоверных различий между экспериментальными пробами через одни и трое суток эксперимента у саженцев березы повислой составило 13,3 % вариантов сравнений при обработке одиночными реагентами и 16,7 % – при обработке смесью; у тополя пирамидального – 6,7 % вариантов сравнений при обработке одиночными реагентами.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в случае достоверных различий введенное соединение продолжает свое воздействие на содержание фотосинтетических пигментов листьев саженцев в течение трех суток после обработки, а при недостоверных различиях – основное влияние соединения проявляется только в течение первых суток опыта. Далее содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов изменяется, однако эти изменения незначительны и носят недостоверный характер.

С целью проведения количественной оценки влияния использованных ароматических углеводородов и сложного эфира на содержание пигментов фотосинтеза в листьях саженцев древесных растений нами был проведен расчет различий количества хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов между экспериментальными и контрольными значениями, а также между пробами, измеренными через одни и трое суток после обработки.

В результате выявления различий между пробами, измеренными через одни и трое суток после обработки, было отмечено, что влияние *o*-ксилола и бенз(а)пирена на пигменты березы повислой проявлялось в виде уменьшения содержания пигментов через одни сутки эксперимента, а в течение последующих трех суток ответная реакция пигментного аппарата выражалась в постепенном увеличении их количества (рис. 1).

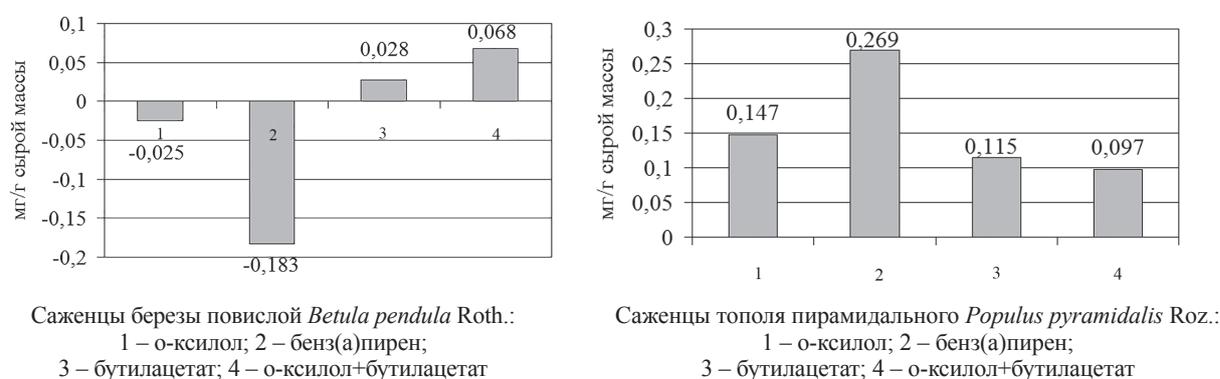


Рис. 1. Изменение содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях саженцев исследуемых древесных растений за период эксперимента

Fig. 1. Changes in the chlorophyll *a*, *b* and carotenoids content in investigated woody plants seedlings leaves during the experiment

Влияние бутилацетата и смеси бутилацетата с *o*-ксилолом в опыте с березой повислой, наоборот, вызвало более интенсивное уменьшение содержания пигментов через трое суток после воздействия растворов на листовые пластинки. Ответная реакция тополя пирамидального, имеющего более плотные листовые пластинки, проявлялась в виде снижения содержания пигментов фотосинтеза через трое суток после обработки всеми используемыми одиночными растворами и смесью бутилацетата с *o*-ксилолом (рис. 1).

Таким образом, максимальное изменение содержания пигментов в течение времени эксперимента у исследуемых древесных саженцев вызывало действие бенз(а)пирена: у березы повислой – через одни сутки после обработки, а у тополя пирамидального – через трое суток.

Результаты кластерного анализа изменений содержания фотосинтетических пигментов в листьях экспериментальных саженцев древесных растений по сравнению с контрольными пробами представлены на рис. 2 (кластерный анализ методом иерархической классификации).

Результаты кластерного анализа изменений содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях саженцев березы повислой через одни сутки после обработки по сравнению с контрольными пробами свидетельствуют о том, что один кластер образовали бенз(а)пирен и смесь бутилацетата и *o*-ксилола, влияние которых привело к изменениям содержания пигментов фотосинтеза по сравнению с контролем в пределах от 0,033 до 0,162 мг/г сырой массы для изучаемых пигментов. Менее значительные различия отмечались после воздействия бутилацетата (от -0,005 до 0,026 мг/г сырой массы). Максимальные изменения через одни сутки в наших исследованиях по отношению к контрольным образцам были вызваны обработкой *o*-ксилола и составили 0,152–0,384 мг/г сырой массы листа для изучаемых пигментов. Через трое суток эксперимента ситуация несколько изменилась, и один кластер с бенз(а)пиреном образовал бутилацетат (изменения содержания пигментов составили от 0,044 до 0,257 мг/г сырой массы); наиболее значительные различия по отношению к контролю через трое суток были вызваны влиянием *o*-ксилола и смеси бутилацетата с *o*-ксилолом (0,230–0,559 мг/г сырой массы).

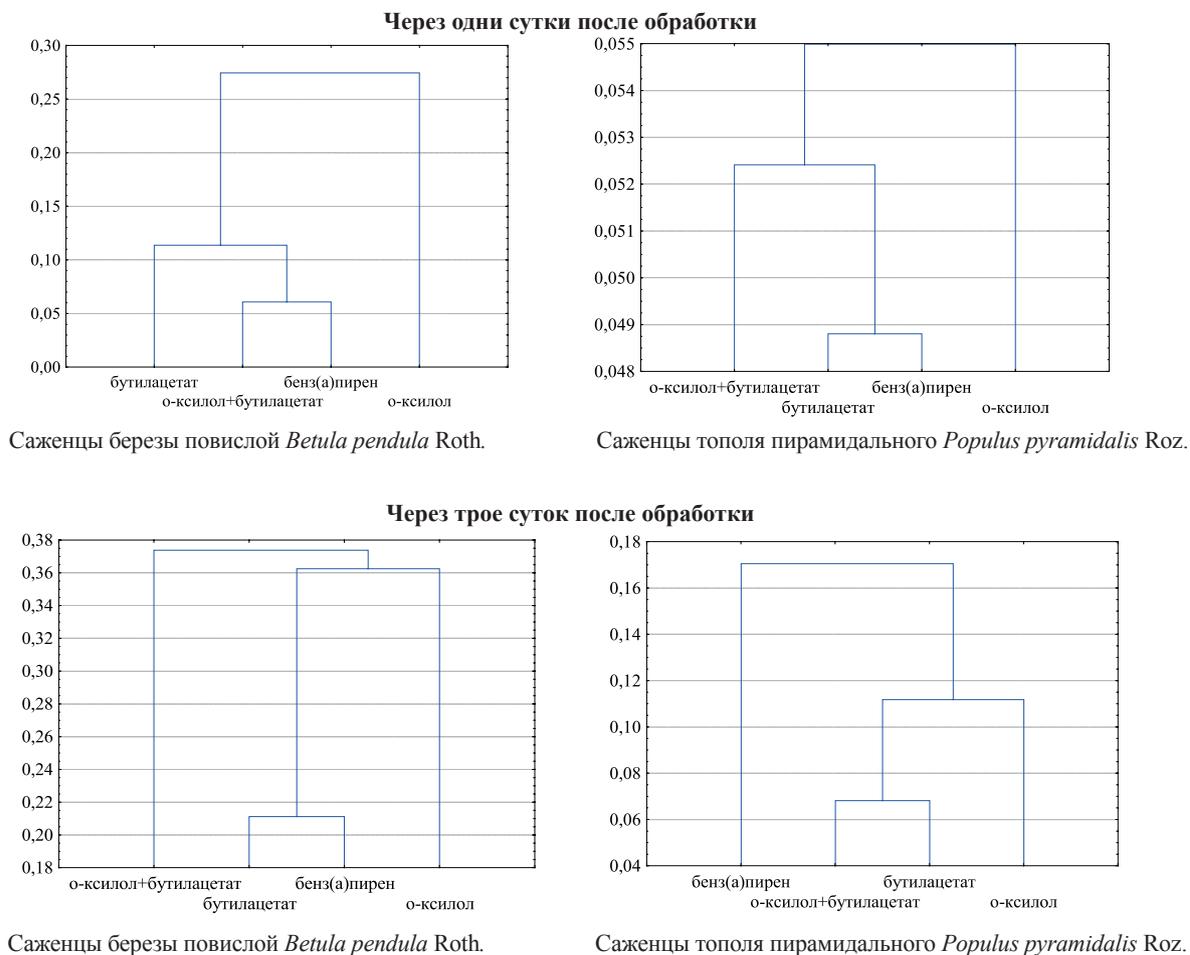


Рис. 2. Дендрограммы изменений содержания фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений по сравнению с контролем

Fig. 2. Dendrograms of photosynthetic content changes pigments in woody plants seedlings leaves compared with the control

У тополя пирамидального через одни сутки после обработки аналогично березе повислой наиболее резкие различия между контрольными и экспериментальными пробами наблюдались после обработки раствором о-ксилола (0,189–0,444 мг/г сырой массы); достаточно сильно повлияла смесь бутилацетата и о-ксилола (0,193–0,449 мг/г сырой массы); один кластер образовали бенз(а)пирен и бутилацетат (различия по сравнению с контролем составили 0,157–0,406 мг/г сырой массы). Через трое суток эксперимента максимально выраженные различия по отношению к контрольным пробам были обусловлены влиянием бенз(а)пирена (0,223–0,677 мг/г сырой массы); достаточно сильное влияние было характерно для о-ксилола (различия составили 0,190–0,527 мг/г сырой массы по сравнению с контролем); один кластер менее действующих соединений образовали бутилацетат и смесь бутилацетата и о-ксилола (0,148–0,460 мг/г сырой массы).

Таким образом, по сравнению с контрольными пробами максимальное изменение содержания пигментов у экспериментальных древесных саженцев березы повислой вызывало действие о-ксилола и смеси о-ксилола с бутилацетатом; у тополя пирамидального – о-ксилола и бенз(а)пирена.

Заключение

Результаты эксперимента по обработке листовых пластинок саженцев древесных растений городской среды летучими углеводородами и их смесью свидетельствуют о том, что воздействие на пигменты березы повислой *Betula pendula* Roth. раствора о-ксилола и бенз(а)пирена проявлялось через одни сутки эксперимента в виде уменьшения содержания, а в течение последующих трех суток ответная реакция пигментного аппарата выражалась в постепенном увеличении их количества. Влияние бутилацетата и смеси бутилацетата с о-ксилолом в опыте с березой повислой *Betula pendula* Roth. вызывало более интенсивное уменьшение содержания пигментов через трое суток после воздействия растворов на листовые пластинки. Ответная реакция тополя пирамидального проявлялась в виде снижения

содержания пигментов фотосинтеза через трое суток после обработки всеми используемыми одиночными растворами и смесью бутилацетата с о-ксилолом.

В процессе проведенного эксперимента по совместному воздействию на листовые пластинки саженцев использованных соединений в виде смеси выявлена возможность бутилацетата к ослаблению отрицательного воздействия о-ксилола на количество пигментов в большинстве случаев. Что касается бутилацетата, то использование максимальной дозы смеси приводило к усилению его негативного влияния через одни сутки эксперимента; минимальная доза смеси приводила к ослаблению отрицательного воздействия бутилацетата на содержание хлорофилла *a* и каротиноидов используемых саженцев древесных растений через одни сутки эксперимента. По истечении трех суток после обработки смесью у березы повислой наблюдалось увеличение токсического эффекта бутилацетата на содержание пигментов во всех дозах, а у тополя пирамидального – снижение, за исключением количества хлорофилла *b*.

Библиографические ссылки

1. Ланкин АВ. *Механизмы токсического действия полициклических ароматических углеводородов на фотосинтетический аппарат* [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 2016. 22 с.
2. Чикидова АЛ. *Полициклические ароматические углеводороды в экосистемах г. Москвы (на примере Восточного административного округа)* [диссертация]. Москва: [б. н.]; 2017. 141 с.
3. Масленко ЕА. *Влияние производных бензола (п-ксилол и ароматические кислоты) и 2-метил-1,3-диоксолана на водоросли и высшие растения* [автореферат диссертации]. Борок: [б. н.]; 2006. 22 с.
4. Кабашникова ЛФ. *Фотосинтетический аппарат и потенциал продуктивности хлебных злаков*. Минск: Беларуская навука; 2011. 327 с.
5. Тюлькова ЕГ. Влияние техногенных условий на содержание фотосинтетических пигментов древесных растений различных возрастных групп. *Вестник Брестского государственного университета*. 2019;1:52–60.
6. Касимов НС, и др. *Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния*. Москва: ИП Филимонов М.В., 2014. – 560 с.
7. Бухарин ИЛ. *Биоэкологические особенности древесных растений и обоснование их использования в целях экологической оптимизации урбаноосреды (на примере г. Ижевска)* [автореферат диссертации]. Тольятти: [б. н.]; 2009. 36 с.
8. Мошеникова НБ. *Оценка экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга* [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 2011. 19 с.
9. Савинцева ЛС. *Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде* [автореферат диссертации]. Петрозаводск: [б. н.]; 2015. 23 с.
10. Павлюк ВВ. *Влияние повышенных концентраций CO₂ на рост сеянцев хвойных* [автореферат диссертации]. Львов: [б. н.]; 1990. 17 с.
11. Николаевская ТВ. *Эколого-физиологическая оценка устойчивости растений к трем газам (SO₂, H₂S, NH₃)* [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 19 с.

References

1. Lankin AV. *Mekhanizmy toksicheskogo deystviya politsiklicheskih aromaticheskikh uglevodorodov na photosinteticheskiy apparat* [The mechanisms of polycyclic aromatic hydrocarbons toxic effects on the photosynthetic apparatus] [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown]; 2016. 22 p. Russian.
2. Chikidova AL. *Politsiklicheskie aromaticheskie uglevodorody v ekosistemakh g. Moskvy (na primere Vostochnogo administrativnogo okruga)* [Polycyclic aromatic hydrocarbons in the ecosystems of Moscow (case study of the eastern administrative district)] [dissertation]. Moscow: [publisher unknown]; 2017. 141 p. Russian.
3. Maslenko EA. *Vlijanie proizvodnykh benzola (n-ksilol i aromaticheskie kisloty) i 2-metil-1,3-dioksolana na vodorosli i vysshie rasteniya* [The effect of benzene derivatives (p-xylol and aromatic acids) and 2-ethyl-1,3-dioxolane on algae and higher plants] [PhD thesis]. Borok: [publisher unknown]; 2006. 22 p. Russian.
4. Kabashnikova LF. *Photosinteticheskiy apparat i potentsial produktivnostikhlebnykh zlakov* [Photosynthetic apparatus and the productivity potential of cereals]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2011. 327 p. Russian.
5. Tyulkova EG. Technogenic conditions influence on the photosynthetic pigments content of various age groups woody plants of. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Brest state university]. 2019;1:52–60. Russian.
6. Kasimov NS, et al. *Regiony i goroda Rossii: integralnaja otsenka ekologicheskogo sostojanija* [Regions and cities of Russia: an integrated assessment of the ecological state]. Moscow: IP Filimonov M.V.; 2014. 560 p. Russian.
7. Bukharin IL. *Bioekologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy i obosnovanie ikh ispolsovanija v tselakh ekologicheskoy optimizatsii urbanosredy (na primere g izhevskaja)* [Bioecological features of woody plants and the rationale for their use for environmental optimization of the urban environment (for example, Izhevsk)] [PhD thesis]. Tolyatti: [publisher unknown]; 2009. 36 p. Russian.
8. Moschenikova NB. *Otsenka ekologicheskogo sostojanija zelenykh nasazhdeniy Sankt-Peterburga* [The ecological status assessment of St. Petersburg green spaces] [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown]; 2011. 19 p. Russian.
9. Savintseva LS. *Ekologicheskoby anaiz adaptivnykh mtkhanizmov rasteniy v urbanizirovannoy srede* [Ecological analysis of plants adaptive mechanisms in an urbanized environment] [PhD thesis]. Petrozavodsk: [publisher unknown]; 2015. 23 p. Russian.
10. Pavlyuk VV. *Vlijanie povyshennykh kontsentratsiy CO₂ na rost sejantsev khvoynykh* [The effect of increased CO₂ concentrations on the growth of coniferous seedlings] [PhD thesis]. Lvov: [publisher unknown]; 1990. 17 p. Russian.
11. Nikolaevskaya TV. *Ekologo-phiziologicheskaja otsenka ustoychivosti rasteniy k trem gazam (SO₂, H₂S, NH₃)* [Ecological and physiological assessment of plant resistance to three gases (SO₂, H₂S, NH₃)] [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown]; 1992. 19 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 19.09.2019.
Received by editorial board 19.09.2019.

УДК 582.711.31:581.2

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ АМЕРИКАНСКОЙ МУЧНИСТОЙ РОСЫ (*SPHAEROTHECA MORS-UVAE* (SCHWEIN.) BERK. ET GURT.) ОТ НЕКОТОРЫХ СТРУКТУР ПАССИВНОГО ИММУНИТЕТА СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ (*RIBES NIGRUM* L.)

А. Г. ЧЕРНЕЦКАЯ¹⁾, И. Э. БУЧЕНКОВ¹⁾

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

Вредоносность американской мучнистой росы (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) отражается на плодоносящих насаждениях смородины черной (*Ribes nigrum* L.), поражая листья, побеги и ягоды. Потери урожая ягод смородины черной при разной интенсивности развития американской мучнистой росы могут достигать 6,9–17,3 %. Под действием возбудителя болезни точки роста и побеги прекращают развиваться, междоузлия укорачиваются, листья становятся мелкими, хрупкими, хлоротичными, часто уродливыми. Ягоды растрескиваются и осыпаются незрелыми вместе с больными листьями. Поражение ягод влечет за собой прямое снижение урожайности. Фитопатологическую ситуацию можно улучшить при использовании менее поражаемых сортов. Селекция на болезнеустойчивость в настоящее время является одним из приоритетных направлений в улучшении и выведении новых сортов ягодных культур.

Ключевые слова: американская мучнистая роса (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.); смородина черная (*Ribes nigrum* L.); морфо-анатомическая структура листа; эпидермис; устьица; изменчивость признаков листа; корреляция.

DEPENDENCE OF PENETRATION OF AMERICAN POWDERY MILDEW (*SPHAEROTHECA MORS-UVAE* (SCHWEIN.) BERK. ET GURT.) ON SOME STRUCTURES OF PASSIVE IMMUNITY OF BLACK CURRANT (*RIBES NIGRUM* L.)

A. G. CHERNETSKAYA^a, I. E. BUCHENKOV^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daïhabrodskaja Street, Minsk, 220070, Belarus
Corresponding author: A. G. Chernetskaya (chealval@gmail.com)

Образец цитирования:

Чернецкая АГ, Бученков ИЭ. Зависимость проникновения американской мучнистой росы (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.) от некоторых структур пассивного иммунитета смородины черной (*Ribes nigrum* L.). Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019;4:45–54.

For citation:

Chernetskaya AG, Buchenkov IE. Dependence of penetration of american powdery mildew (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.) on some structures of passive immunity of black currant (*Ribes nigrum* L.). Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2019;4:45–54. Russian.

Авторы:

Алла Георгиевна Чернецкая – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; исполняющий обязанности заведующего кафедрой общей биологии и генетики.
Игорь Эдуардович Бученков – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заместитель директора по учебной и воспитательной работе.

Authors:

Ala G. Chernetskaya, PhD (agriculture), docent; acting head of the department of general biology and genetics.
chealval@gmail.com
Igor E. Buchenkov, PhD (agriculture), docent; deputy director for educational work.
butchenkow@list.ru

The harmfulness of American powdery mildew (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) in the fruiting plantations of black currant (*Ribes nigrum* L.) consists of the defeat of leaves, shoots and berries. 17.3 %. Under the action of the pathogen, growth points and shoots stop growing, internodes are shortened, leaves become small, fragile, chlorotic, often ugly. Berries crack and crumble unripe along with diseased leaves. Damage to berries entails a direct decrease in productivity. The phytopathological situation can be improved by using less affected varieties. Breeding for disease resistance is currently one of the priority areas in the selection of berry crops.

Key words: american powdery mildew (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.) blackcurrant (*Ribes nigrum* L.); morpho-anatomical leaf structure, epidermis; stoma, variability of leaf characters; correlation.

Введение

Патологический процесс – это сложное биологическое взаимодействие между возбудителем болезни, растением-хозяином и окружающей средой. Он может возникнуть только в том случае, если произойдет контакт патогена с восприимчивым к нему растением при благоприятных для развития болезни внешних условиях. Для возникновения и дальнейшего развития патологического процесса недостаточно попадания патогена на восприимчивое растение. Необходимо, чтобы он на него «напал», то есть был способен проникнуть внутрь хозяина и, преодолевая сопротивление живых тканей, распространяться в нем. Патоген должен иметь способность убивать ткань или питаться содержимым живых клеток, нейтрализуя их защитные механизмы и изменяя обмен веществ хозяина в соответствии со своими потребностями. Следовательно, для него свойственны функции, обеспечивающие заражение растения и дальнейшее развитие болезни.

Наиболее интересны и разнообразны способы проникновения инфекции в растение у грибов. Ряд возбудителей болезней растений попадают внутрь ткани путем механического прободения наружного покрова. Очень многие фитопатогенные грибы оказываются в растении через естественные отверстия (устьица, чечевички и т. д.). Ширина раскрытия устьиц не имеет большого значения, так как инфекционная гифа может проходить и через очень узкие щели, хотя при открытых устьицах частота заражения значительно увеличивается. Подобный путь проникновения в растение характерен для пероноспорных грибов, некоторых стадий ржавчинных грибов, многих представителей несовершенных грибов [14]. Мы рассмотрим инфекционный процесс на примере американской мучнистой росы (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.).

Американская мучнистая роса крыжовника (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.) появилась в России, по данным И. Усикова (1908), в 1890 г. Для смородины черной американская мучнистая роса стала серьезной болезнью в 30-х годах прошлого столетия [4]. В конце 60-х гг. XX в. в отечественной и зарубежной литературе появляются сведения о широком распространении болезни во многих районах возделывания смородины черной, а также возрастании ее вредоносности, что заставило многих исследователей как у нас в стране, так и за рубежом сделать ее предметом своих исследований.

Американская мучнистая роса на смородине черной получила массовое распространение в Англии [Corke, 1965; Jordan, 1966; Merriman, 1968; Keep, 1975], Швеции [Rousi, 1966; Trajkovski, Paasuke, 1976], Финляндии [Jaakko, 1973], Румынии [Szekely, Botar, 1979], Болгарии [Тафраджийски, Наков, 1975; Захариева, Стоянов, 1972], Германии [Zimmer, 1970; Frost, 1973; Gaebeler, Giessmann, 1975].

Повышенную устойчивость к мучнистой росе показывают сорта скандинавского экотипа и их производные. Сорта европейского подвида смородины черной в большей степени поражаются ее патогеном. Менее восприимчивы к заболеванию сорта сибирского подвида смородины черной и дикуши [6; 8; 17].

В 1961–1963 гг. впервые проводились мероприятия по выявлению очагов появления американской мучнистой росы в Минской, Брестской, Гродненской, Могилевской и Витебской. Отмечены единичные случаи данного заболевания в Минском р-не Минской обл. и Пружанском р-не Брестской обл. Дальнейшее обследование в Минской, Брестской, Гомельской, Могилевской и Витебской областях свидетельствует, что оно является одним из самых распространенных. Так, в Ивановском р-не Брестской обл. смородина черная, выращиваемая на торфяно-болотной почве, поражалась болезнью до 100 %, причем отмечалось поражение всего куста от верхушки до основания [4; 5].

Установлено, что американская мучнистая роса встречается ежегодно во всех районах возделывания растений-хозяев (смородины, крыжовника). Поражение ею сортов составляет от 66 до 100 %. Сочетание сухой погоды с легкими по механическому составу почвами способствует укорочению периода роста побегов растений-хозяев, что приводит к сокращению сроков распространения и развития патогена [7]. Американская мучнистая роса распространена как в молодых, так и в старых плодоносящих насаждениях. Интенсивность поражения молодых растений выше, чем старых. Объясняется это приуроченностью к развитию возбудителя американской мучнистой росы на молодых растущих тканях.

Большой вред от болезни заключается в задержке роста и развития вегетативных органов, поскольку грибок *Sphaerotheca mors-uvae* поражает в основном молодые листья и побеги. При пораженности болезнью возрастает количество заложившихся вегетативных почек, однако количество плодовых уменьшается, а также снижается морозоустойчивость и урожайность смородины черной. Согласно результатам исследования, в зависимости от устойчивости сортов к болезни потери урожая могут достигать 10–60 %, а длина годичного прироста сокращается в 1,2–1,5 раза. Вредоносность американской мучнистой росы в плодоносящих насаждениях смородины черной (по А. М. Дмитриевой) складывается из поражения листьев, побегов и ягод. Потери урожая ягод смородины черной при разной интенсивности развития заболевания могут достигать 6,9–17,3 % [4; 13].

Под действием возбудителя болезни точки роста и побеги прекращают рост, междоузлия укорачиваются, листья становятся мелкими, хрупкими, хлоротичными, часто уродливыми. Ягоды недозревают, растрескиваются и вместе с больными листьями осыпаются. Поражение ягод влечет за собой прямое снижение урожайности. Больные растения ослаблены, малопродуктивны, у них снижается зимостойкость. При сильном поражении кусты погибают уже через 2–3 года. Вспышка заболевания начинается ко времени созревания ягод на промышленных плантациях (вторая половина июня) и достигает пика в послеуборочный период (конец июля – начало августа). Следует отметить, что на территории Республики Беларусь американская мучнистая роса широко распространена в разновозрастных насаждениях ягодных культур, поэтому при определенной интенсивности развития болезни потери могут составлять 1/5 часть урожая. Таким образом, фитопатологическую ситуацию можно улучшить, если использовать менее поражаемые сорта черной смородины [8; 13].

Цель исследования – определение зависимости морфо-анатомических особенностей листа смородины черной (*R. nigrum* L.) и устойчивости ее к американской мучнистой росе (*Sphaerotheca mors-uvae*).

Материалы и методы исследования

Изучение анатомо-морфологического строения листьев сортов смородины черной (*R. nigrum* L.) белорусской селекции как диагностического признака при оценке на устойчивость к мучнистой росе проводилось по следующему плану:

1. Изучение сортирента смородины черной (*R. nigrum* L.) Республики Беларусь.
2. Выбор методов изучения морфо-анатомического строения листа смородины черной и фитопатосистем (лист смородины – мицелий *Sphaerotheca mors-uvae*).
3. Исследование по 20 параметрам анатомо-морфологического строения листа смородины черной белорусских сортов (Клуссоновская, Купалинка, Памяти Вавилова, Волшебница, Катюша, Церера, Минай Шмырев).
4. Изучение заболеваемости мучнистой росой смородины черной белорусских сортов (Клуссоновская, Купалинка, Памяти Вавилова, Волшебница, Катюша, Церера, Минай Шмырев).

Для анатомических исследований использовались «Методы анатомо-гистохимических исследований растительных тканей» [11] и «Анатомические методы исследований культурных растений: методические указания», Всесоюзный научно-исследовательский институт растений имени Н. И. Вавилова» [1].

Оценка сортов на устойчивость к американской мучнистой росе проводилась на базе учебно-опытного участка учреждения образования «Полесский государственный университет» в 2014–2016 гг. При этом на естественном инфекционном фоне по методике Всесоюзного института растений (ВИР) по каждому сорту учитывалось в среднем 16 кустов. В связи с массовым распространением болезни полевая инфекционная нагрузка может служить фоном для оценки гибридного материала по наследованию признака устойчивости к мучнистой росе [12].

Распределение сортов по группам устойчивости проводилось согласно методике ВИР и в зависимости от процента развития болезни [9]: 0 % – иммунные сорта; 1–10 % – относительно устойчивые; 11–25 % – слабопоражаемые; 26–50 % – среднепоражаемые; более 51 % – сильнопоражаемые.

Распространенность, развитие болезни и средний балл поражения вычисляли по общепринятой в фитопатологии формуле:

$$R = E(ab)100 / N \times K,$$

где R – развитие болезни,

E(ab) – сумма произведений числа растений (a) на соответствующий балл поражения (b),

N – общее число учтенных растений,

K – высший балл шкалы учета.

Полученный в результате полевых и лабораторных исследований материал обрабатывали с помощью методов математической статистики. Обработку экспериментальных данных осуществляли по

стандартным статистическим программам. F-критерий (критерий Фишера) использовали для оценки значимости различий между средними значениями возрастных групп по каждому из признаков.

Для выявления признаков, максимально связанных с устойчивостью к мучнистой росе, проводили корреляционный анализ. Количественные взаимосвязи между болезнестойкостью и анатомическими признаками описывали с помощью регрессионных моделей. Для построения регрессионных моделей использовали метод наименьших квадратов.

Результаты исследования и их обсуждение

Следует подчеркнуть, что американская мучнистая роса (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.) поражает смородину черную (*R. nigrum* L.) после окончания цветения. Симптомы заболевания проявляются на всех надземных частях растения. На ягодах, листьях и побегах налет становится коричневым или даже черным, при этом сильно пораженные кусты гибнут. Таким образом, уже в начале июня можно видеть большое количество опавших ягод, зараженных мучнистой росой [3].

Sphaerotheca mors-uvae – эктопаразит, развивающий мицелий на поверхности органов растений, образуя особые органы – гаустории, проникающие в клетки растения-хозяина и получающие от них питательные для гриба вещества [8; 15]. При мучнисто-росяной инфекции проникновение гриба в клетку хозяина осуществляется непосредственно через наружную стенку эпидермальных клеток растения. При этом гаусторий формируется только в эпидермальном слое растения [2]. Ключевым моментом в онтогенезе является образование инфекционного пузырька, который у возбудителя мучнистой росы дифференцируется в гаустории, обеспечивая ему биотрофный способ питания в эпидермальной клетке.

Образования инфекционного гаусторального пузырька в клетке эпидермиса вполне достаточно, чтобы длительное время поддерживать в состоянии равновесия паразитические отношения между организмами в системе «смородина–возбудитель мучнистой росы» [10]. Структура поверхностей мицелиальных клеток соответствует видовым и тканевым особенностям архитектоники поверхностей растительных клеток. В результате система «растение – паразит» становится более стабильной.

Для изучения влияния значений морфо-анатомических признаков листа смородины черной (*R. nigrum* L.) на устойчивость к мучнистой росе был проведен однофакторный дисперсионный анализ. Группирующей (независимой) переменной была степень устойчивости растений смородины черной (*R. nigrum* L.) к американской мучнистой росе. Изучаемые в течение трех лет образцы смородины черной (*R. nigrum* L.) были разделены на три группы в зависимости от степени их устойчивости к заболеванию (табл. 1).

Таблица 1

Интенсивность развития американской мучнистой росы на сортаобразцах смородины черной (*R. nigrum* L.), естественный инфекционный фон 2016 г.

Table 1

The intensity of development of powdery mildew on varieties of black currant (*R. nigrum* L.), natural infectious background 2016

Образец	Развитие болезни в 2016 г. (эпифитотийный год)	Группа устойчивости
Церера	8,8	относительно устойчивый
Памяти Вавилова	9,7	относительно устойчивый
Катюша	20,6	слабопоражаемый
Клуссоновская	23,0	слабопоражаемый
Купалинка	50,2	среднепоражаемый
Волшебница	42,7	среднепоражаемый
Минай Шмырев	88,4	сильнопоражаемый

Зависимыми переменными были признаки морфо-анатомической структуры листа смородины черной, которые можно использовать в качестве диагностических факторов на устойчивость к мучнистой росе, то есть с незначительной и средней степенью изменчивости.

Следуя результатам исследований, такими признаками являются длина и ширина замыкающих клеток устьиц нижнего эпидермиса, коэффициент полисадности, число основных клеток и устьиц нижнего

эпидермиса на единицу площади, высота клеток (толщина) верхнего и нижнего эпидермиса, толщина столбчатого и губчатого мезофилла. Не рассматривались у образцов смородины черной (*R. nigrum* L.) признаки со значительным коэффициентом вариации: количество трихом на единицу площади и их длина, глубина извилин оболочек эпидермальных клеток, ширина проводящих пучков [12]. Изучение отношения того или иного признака к болезнеустойчивости осуществлялось в трех возрастных стадиях растений смородины черной (*R. nigrum* L.): одного года, четырех лет, восьми лет. В ходе анализа была изучена связь устойчивости растений смородины черной к мучнистой росе с 16 признаками морфо-анатомической структуры листа в трех возрастных фазах.

Для установления зависимости устойчивости к американской мучнистой росе от особенностей анатомической структуры листа был проведен корреляционный анализ, изучена связь между устойчивостью смородины черной к мучнистой росе и всеми изученными морфо-анатомическими признаками листа смородины черной. В качестве показателя болезнеустойчивости было выбрано развитие болезни. Оценку образцов смородины черной на устойчивость к мучнистой росе проводили в полевых условиях на естественном инфекционном фоне у растений разного возраста. Для характеристики каждого образца учитывали максимальное развитие болезни, а также определяли среднее значение развития болезни (табл. 1).

В условиях Республики Беларусь изучаемые нами образцы смородины черной были поражены мучнистой росой (*Sphaerotheca mors-uvae*) в неодинаковой степени. Наиболее устойчивыми являются Памяти Вавилова и Церера; среднепоражаемыми – Клуссоновская, Катюша, Волшебница и Купалинка; сильнопоражаемыми – Минай Шмырев [4]. Вспышка заболевания начинается ко времени созревания ягод на промышленных плантациях (вторая половина июня) и достигает пика в послеуборочный период (конец июля – начало августа). В 2016 г. болезнь появилась в начале первой декады июля (эпифитотийный год). Для выявления признаков, связанных с устойчивостью к мучнистой росе, были составлены матрицы парных корреляций между развитием болезни и признаками морфо-анатомической структуры листа смородины черной.

В корреляционный анализ были включены следующие признаки: количество эпидермальных клеток в 1 мм^2 , размеры эпидермальных клеток по длинной оси, размеры эпидермальных клеток по короткой оси, площадь эпидермальных клеток, длина замыкающих клеток, ширина замыкающих клеток, число устьиц, ширина устьичной щели, устьичный индекс, общая толщина среза, толщина мезофилла, толщина нижнего эпидермиса, толщина верхнего эпидермиса, толщина губчатого мезофилла, толщина полисадного мезофилла, коэффициент полисадности.

Коэффициенты корреляции позволили выявить силу корреляционных связей между развитием болезни и морфо-анатомическими признаками листа смородины черной, а также отбросить малоинформативные признаки. У однолетних растений отмечены коэффициенты корреляции по 6 признакам, не значимые на уровне 5 %: размеры эпидермальных клеток по длинной и короткой оси (коэффициенты корреляции 0,06 и 0,22 соответственно), площадь эпидермальных клеток (0,15), число устьиц (0,36), толщина губчатого мезофилла (0,40), коэффициент полисадности (0,04) (табл. 2). Наибольшее количество признаков с низкими коэффициентами корреляции показали сортообразцы четырехлетних растений.

У 4-летних растений смородины черной из 16 параметров у 9 проявились не значимые коэффициенты корреляции: количество эпидермальных клеток (0,34), размеры эпидермальных клеток по длинной и короткой оси (-0,08 и -0,38 соответственно), площадь эпидермальных клеток (-0,27), число устьиц (0,29), устьичный индекс (-0,13), общая толщина поперечного среза (0,24), толщина мезофилла (0,03), толщина столбчатого мезофилла (-0,49) (табл. 3). У растений восьмилетнего возраста коэффициент корреляции не значим по 7 признакам: количество эпидермальных клеток (0,19), размеры эпидермальных клеток по длинной и короткой оси (0,11 и -0,42 соответственно), площадь эпидермальных клеток (-0,06), число устьиц (0,11), устьичный индекс (-0,27), толщина столбчатого мезофилла (0,34) (табл. 4).

Средние показатели корреляции у однолетних растений отмечались у 4 признаков листа смородины черной: количества эпидермальных клеток (-0,58), устьичного индекса (0,68), общей толщины поперечного среза (0,64), толщины мезофилла (0,57) (табл. 3). У растений четырехлетнего возраста тот же уровень корреляции характерен для трех признаков листа: толщины верхнего эпидермиса (-0,51), толщины губчатого мезофилла (0,70), коэффициента полисадности (-0,66) (табл. 4).

У восьмилетних растений уровень корреляции со средними значениями характерен для 4 признаков листа смородины черной: общей толщины поперечного среза (-0,62), толщины мезофилла (-0,72), толщины губчатого мезофилла (-0,79), коэффициента полисадности (0,61).

Таблица 2

Корреляционные связи между развитием болезни и морфо-анатомическими признаками листа смородины черной (*R. nigrum* L.) у однолетних растений

Table 2

Correlation between the development of the disease and morpho-anatomical features of the leaf of blackcurrant (*R. nigrum* L.) in annual plants

Показатели	Коэффициент корреляции	Направление связи	Корреляция
Количество эпидермальных клеток	-0,58	обратная	средняя
Размеры эпидермальных клеток по длинной оси	0,06	прямая	слабая
Размеры эпидермальных клеток по короткой оси	0,22	прямая	слабая
Площадь эпидермальных клеток	0,15	прямая	слабая
Длина замыкающих клеток устьиц	0,96*	прямая	сильная
Ширина замыкающих клеток устьиц	0,92*	прямая	сильная
Ширина устьичной щели	0,95*	прямая	сильная
Число устьиц	0,36	прямая	слабая
Устьичный индекс	0,68	прямая	средняя
Общая толщина поперечного среза	0,64	прямая	средняя
Толщина мезофилла	0,57	прямая	средняя
Толщина нижнего эпидермиса	-0,94*	обратная	сильная
Толщина верхнего эпидермиса	-0,96*	обратная	сильная
Толщина губчатого мезофилла	0,40	прямая	слабая
Толщина столбчатого мезофилла	0,86*	прямая	сильная
Коэффициент полисадности	0,04	прямая	слабая

Примечание. *В табл. 2–4 отмечены коэффициенты корреляции, значимые на уровне $p=0,05$ (5 %)

Таблица 3

Корреляционные связи между развитием болезни и морфо-анатомическими признаками листа смородины черной (*R. nigrum* L.) у растений четырехлетнего возраста

Table 3

Correlation between the development of diseases and morpho-anatomical characters of a leaf of blackcurrant (*R. nigrum* L.) in plants of four years of age

Показатели	Коэффициент корреляции	Направление связи	Корреляция
Количество эпидермальных клеток	0,34	прямая	слабая
Размеры эпидермальных клеток по длинной оси	-0,08	обратная	слабая
Размеры эпидермальных клеток по короткой оси	-0,38	обратная	слабая
Площадь эпидермальных клеток	-0,27	обратная	слабая
Длина замыкающих клеток устьиц	0,91*	прямая	сильная
Ширина замыкающих клеток устьиц	0,88*	прямая	сильная
Ширина устьичной щели	0,90*	прямая	сильная
Число устьиц	0,29	прямая	слабая
Устьичный индекс	-0,13	обратная	слабая
Общая толщина поперечного среза	0,24	прямая	слабая
Толщина мезофилла	0,03	прямая	слабая
Толщина нижнего эпидермиса	-0,97*	обратная	сильная
Толщина верхнего эпидермиса	-0,51	обратная	средняя
Толщина губчатого мезофилла	0,70	прямая	средняя
Толщина столбчатого мезофилла	-0,49	обратная	слабая
Коэффициент полисадности	-0,66	обратная	средняя

Корреляционные связи между развитием болезни и морфо-анатомическими признаками листа смородины черной (*R. nigrum* L.) у растений восьмилетнего возраста

Table 4

Correlation between the development of the disease and morpho-anatomical characters of the leaf of blackcurrant (*R. nigrum* L.) in plants of eight years of age

Показатели	Коэффициент корреляции	Направление связи	Корреляция
Количество эпидермальных клеток	0,19	прямая	слабая
Размеры эпидермальных клеток по длинной оси	0,11	прямая	слабая
Размеры эпидермальных клеток по короткой оси	-0,42	обратная	слабая
Площадь эпидермальных клеток	-0,06	обратная	слабая
Длина замыкающих клеток устьиц	0,96*	прямая	сильная
Ширина замыкающих клеток устьиц	0,97*	прямая	сильная
Ширина устьичной щели	0,98*	прямая	сильная
Число устьиц	0,11	прямая	слабая
Устьичный индекс	-0,27	обратная	слабая
Общая толщина поперечного среза	-0,62	обратная	средняя
Толщина мезофилла	-0,72	обратная	средняя
Толщина нижнего эпидермиса	-0,98*	обратная	сильная
Толщина верхнего эпидермиса	-0,91*	обратная	сильная
Толщина губчатого мезофилла	-0,79	обратная	средняя
Толщина столбчатого мезофилла	0,34	прямая	слабая
Коэффициент полисадности	0,61	прямая	средняя

Установлено, что с растений однолетнего возраста до растений восьми лет начинает выделяться группа признаков, коррелирующих с устойчивостью к мучнистой росе: толщина нижнего эпидермиса у однолетних растений коэффициент корреляции равен (-0,94); у четырехлетних – (-0,97); у восьмилетних – (-0,98) и размеры устьиц (длина и ширина замыкающих клеток устьиц, ширина устьичной щели). У однолетних растений коэффициенты корреляции равны 0,96, 0,92 и 0,95; у четырехлетних – 0,91, 0,88 и 0,90; у восьмилетних – 0,96, 0,97 и 0,98 соответственно. Мы отмечаем также, что связь между толщиной нижнего эпидермиса, с одной стороны, и развитием болезни, с другой, носит отрицательный характер (обратную корреляцию). А связь между размерами устьиц и развитием болезни – положительная (прямая корреляция).

Таким образом, корреляционный анализ подтверждает наличие связи между устойчивостью растений смородины черной к мучнистой росе и морфо-анатомической структурой листа. В ходе корреляционного анализа выявлена линейная отрицательная зависимость между развитием болезни и толщиной клеток нижнего эпидермиса, линейная положительная зависимость между развитием болезни и размерами устьиц (длиной и шириной) и шириной устьичной щели на нижнем эпидермисе.

Для изучения характера обнаруженных взаимосвязей, а также для прогноза развития болезни по особенностям морфо-анатомической структуры листа смородины черной мы использовали регрессионный анализ. Регрессионному анализу из всех выявленных критериев болезнестойчивости были подвергнуты три признака с сильной степенью корреляционных связей: длина и ширина устьиц на нижнем эпидермисе, толщина нижнего эпидермиса. Для описания взаимосвязей между средним развитием болезни и размерами устьиц на нижнем эпидермисе были построены линейные модели зависимости среднего развития мучнистой росы от длины (рис. 1), ширины (рис. 2) устьиц на нижнем эпидермисе, толщины нижнего эпидермиса (рис. 3).

На рис. 1–3 приведены уравнения полученных моделей. Так, связь болезнестойчивости и длины устьиц на нижнем эпидермисе представлена уравнением (рис. 1):

$$y = -2,202 + 0,983x, (R^2 = 0,88), \text{ где}$$

y – среднее развитие болезни;

x – длина устьиц на нижнем эпидермисе (мкм).

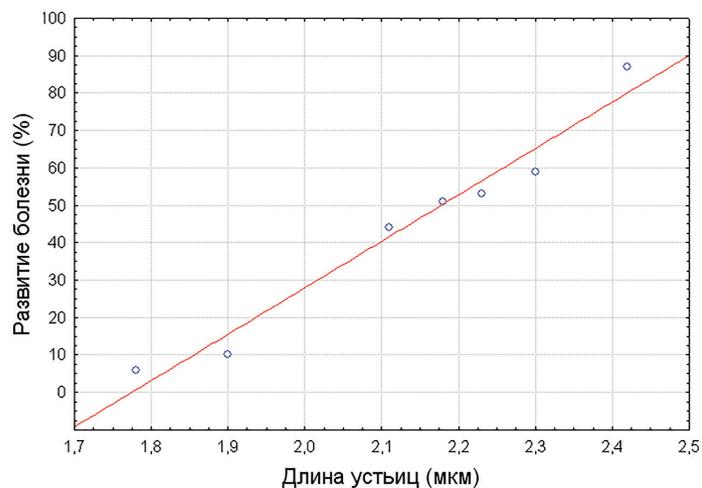


Рис. 1. Линейная модель зависимости развития мучнистой росы от длины устьиц на нижнем эпидермисе

Fig. 1. A linear model of the dependence of the development of powdery mildew on the length of stomata on the lower epidermis

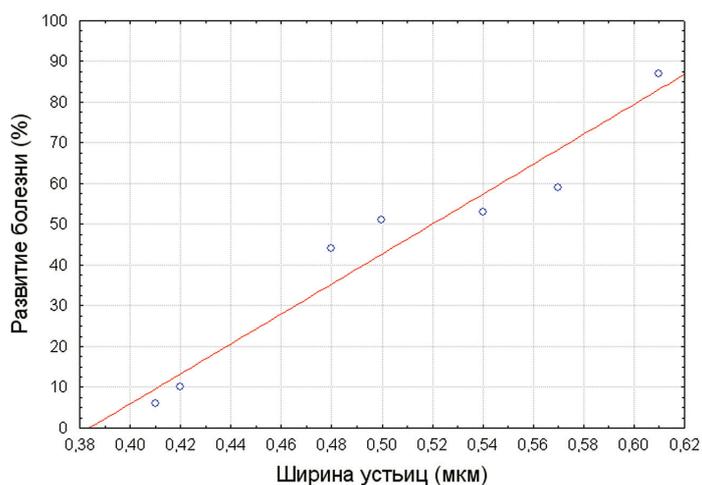


Рис. 2. Линейная модель зависимости развития мучнистой росы от ширины устьиц на нижнем эпидермисе

Fig. 2. A linear model of the dependence of the development of powdery mildew on the width of the stomata on the lower epidermis

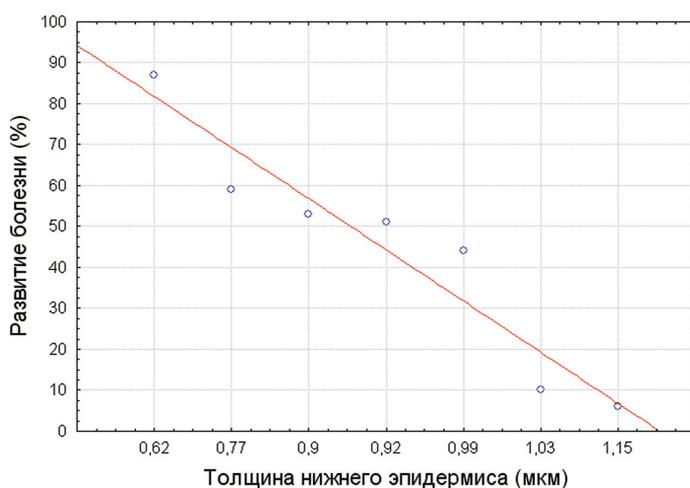


Рис. 3. Линейная модель зависимости развития мучнистой росы от толщины нижнего эпидермиса

Fig. 3. A linear model of the dependence of powdery mildew development on the thickness of the lower epidermis

Зависимость среднего развития мучнистой росы от ширины устьиц на нижнем эпидермисе выражена уравнением (рис. 2):

$$y = -1,412 + 0,969x, (R^2 = 0,85), \text{ где}$$

y – среднее развитие болезни;

x – ширина устьиц на нижнем эпидермисе (мкм).

Связь болезнеустойчивости и толщины нижнего эпидермиса приведена в уравнении (рис. 3):

$$y = 0,943 - 0,95x, (R^2 = 0,92), \text{ где}$$

y – среднее развитие болезни;

x – толщина нижнего эпидермиса (мкм).

Заключение

На основе составленных моделей и уравнений нами предложен метод ранней диагностики сортов смородины черной на устойчивость к мучнистой росе.

Так, сортообразцы смородины черной с длиной устьиц на нижнем эпидермисе ниже 2,34 мкм, шириной ниже 1,56 мкм, толщиной нижнего эпидермиса более 0,89 мкм будут обладать высокой устойчивостью к мучнистой росе (развитие болезни менее 10 %).

Для образцов смородины черной с длиной устьиц на нижнем эпидермисе в пределах 2,74 мкм, шириной в пределах 1,96 мкм, толщиной нижнего эпидермиса в пределах 1,40 мкм будет характерна средняя устойчивость (развитие болезни менее 50 %).

Низкая устойчивость (развитие болезни более 50 %) будет у образцов с длиной устьиц на нижнем эпидермисе выше 2,75 мкм, шириной выше 1,97 мкм, толщиной нижнего эпидермиса менее 0,47 мкм.

Таким образом, зависимость развития мучнистой росы от длины и ширины устьиц на нижнем эпидермисе и толщины нижнего эпидермиса листа смородины черной в разном возрасте описывается линейным уравнением.

Библиографические ссылки

1. Москалева ГИ, редактор. *Анатомические методы исследования культурных растений: методические указания*. Ленинград: Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова; 1989. 75 с.
2. Андреев ЛН. Цитофизиологические основы устойчивости растений к патогенным грибам. В: Парфенов ВИ, редактор. *Проблемы экспериментальной ботаники. Курьевичские чтения*. Минск: Тэхналогія; 1999. с. 5–44.
3. Григалиюнайте Б. *Мучнисто-росяные грибы (Erysiphaceae Lev.)*. Вильнюс: Моклас; 1990. 88 с.
4. Дмитриева АМ. Оценка исходного материала смородины черной на устойчивость к американской мучнистой росе. В: Лойко РЭ, главный редактор. *Плодоводство. Ягодководство на современном этапе. Материалы Международной научно-практической конференции; 13–15 июля 2004 г.; п. Самохваловичи*, Самохваловичи: Институт плодоводства Национальной академии наук Беларуси; 2004. Том 15. с. 62–64.
5. Дозорцев ЛА, Романьков ДА. Сортоизучение черной смородины в экологических условиях Могилевской области. В: Дозорцев ЛА, ответственный редактор. *Интенсивное плодовоовощеводство в условиях Республики Беларусь. Научные труды Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; 1995. с. 5–8.
6. Звягина ТС. Поражение черной смородины мучнистой росой в зависимости от возраста растений. В: *Научные труды Всесоюзного научно-исследовательского института садоводства имени И. В. Мичурина*. Мичуринск: Мичуринск-наукоград; 1980. Выпуск 31. с. 109–111.
7. Кривченко ВИ. Проблемы селекции растений на иммунитет к болезням. В: Самерсов ВФ, и др., редколлегия. *IX всесоюзное совещание по иммунитету растений к болезням и вредителям. Тезисы докладов научной конференции; 15 сентября 1991 г.*; г. Минск. Минск: Научно-исследовательский институт защиты растений имени Н. И. Вавилова; 1991. Том 1. с. 5–6.
8. Лозовская РИ. Видовой состав возбудителей болезней черной смородины в Беларуси. В: Буга СФ, и др., редколлегия. *Проблемы фитопатологии в Республике Беларусь. Тезисы докладов научной конференции; 3 апреля 1996 г.*; г. Минск. Минск: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений; 1996. с. 32–37.
9. Помазков ЮМ. *Иммунитет растений и методы оценки селекционного материала на устойчивость*. Москва: Российский университет Дружбы народов; 2015. 30 с.
10. Родюкова ОС. Результаты изучения коллекции черной смородины на устойчивость к мучнистой росе и септориозу. В: Куминов ЕП, и др., редколлегия. *Научные основы устойчивого садоводства в России. Доклады конференции; 11–12 марта 2009 г.*; г. Мичуринск. Мичуринск-наукоград; 2009. с. 357–358.
11. Фурст ГТ. *Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей*. Москва: Наука; 2009. 155 с.
12. Чернецкая АГ, Валетов ВВ. Изменчивость количественных анатомических признаков листа смородины черной (*Ribes nigrum L.*). В: Самусь ВА, главный редактор. *Плодоводство. Методическое обеспечение устойчивого развития современного плодоводства. Материалы Международной научной конференции; 6–8 сентября 2006 г.*; п. Самохваловичи. Самохваловичи: Институт плодоводства Национальной академии наук Беларуси; 2006. Том 18. Часть 2. с. 92–95.
13. Шипилькевич АМ. *Биологические особенности возбудителя американской мучнистой росы на черной смородине в Беларуси и обоснование мер борьбы с болезнью* [автореферат диссертации]. Самохваловичи: [б. н.]; 1987. 21 с.

14. Ячевский АА. *Болезни растений (фитопатология): монография*. Санкт-Петербург: [б. н.]; 1910. Том 1. 456 с.
15. Dudzic M. *Odmiany porzeczki czarnej i agrestu*. Koneskowola: Wodr; 2012. 10 s.
16. Klebanh H. *Haupt- und Nebefruchtformen der Ascomyzeten*. Leipzig: [publisher unknown]; 1918. S. 61–72.
17. Todd JC. Black currant varieties their classification and identification. *Technical Ministry of Agriculture*. 1967;11:125–126.

References

1. Moskalev GI, editor. *Anatomicheskie metody issledovaniya kulturnykh rasteniy: metodicheskie ukazaniya* [Anatomical methods for the study of cultivated plants]. Leningrad: Vsesojuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut rasteniyevodstva imeni N. I. Vavilova; 1989. 75 p. Russian.
2. Andreev LN. *Tsitofiziologicheskie osnovy ustoychivosti rasteniy k patogennym gribam* [Cytophysiological basis of plant resistance to pathogenic fungi]. In: Parfenov VI, editor. *Problemy eksperimental'noy botaniki: Kuprevichskie chteniya* [Problems of experimental botany. Kuprevich readings]. Minsk: Tekhnologiya; 1999. p. 5–44. Russian.
3. Grigalunayayte B. *Muchnisty-rosjanye griby (Erysiphaceae Lev.)* [Powdery-mildew fungi (*Erysiphaceae* Lev.)]. Vilnius: Moklas; 1990. 88 p. Russian.
4. Dmitrieva AM. [Evaluation of the source material of black currant for resistance to powdery mildew]. In: Loiko RE, general editor. *Plodovodstvo. Jagodovodstvo na sovremennom etape. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 2004 July 13–15; Samokhvalovichi*. Samokhvalovichi: Institut plodovodstva natsionalnoi akademii nauk Belarusi; 2004. Volume 15. p. 62–64. Russian.
5. Dozortsev LA, Romankov DA. [Variety study of blackcurrant in the environmental conditions of the Mogilev region]. In: Dozortsev LA, chief editor. *Intensivnoe plodovodstvo v usloviyakh Respubliki Belarus. Nauchnye trudy Belorusskoy gosudarstvennoy selskokhozjaystvennoy akademii*. Gorki: Belorusskaya gosudarstvennaya selskokhozjaystvennaya akademiya; 1995. p. 5–8. Russian.
6. Zvyagina TS. [Defeat of blackcurrant with powdery mildew depending on the age of plants]. In: *Nauchnye trudy Vsesojuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva imeni I. V. Michurina*. Michurinsk: Michurinsk-naukograd; 1980. Issue 31. p. 109–111. Russian.
7. Krivchenko VI. [Problems of plant breeding for immunity to diseases]. In: Samers VF, et al., editorial board. *IX vsesojuznoe soveshchanie po immunitetu rasteniy k boleznyam i vrediteljam. Tezisy dokladov nauchnoy konferentsii; 1991 Sentabra 15; Minsk*. Minsk: Vsesojuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut zashchity rasteniy; 1991. Volume 1. p. 5–6. Russian.
8. Lozovskaya RI. [The species composition of pathogens of diseases of blackcurrant in Belarus]. In: Buga SF, et al., editorial board. *Problemy fitopatologii v Respublike Belarus. Tezisy dokladov nauchnoy konferentsii; 1996 April 3; Minsk*. Minsk: Vsesojuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut zashchity rasteniy; 1996. p. 32–37. Russian.
9. Pomazkov YuM. *Immunitet rasteniy i metody otsenki selektsionnogo materiala na ustoychivost* [Plant immunity and methods for assessing breeding material for resistance]. Moscow: Rossiyskiy universitet Druzhby narodov; 2015. 30 p. Russian.
10. Rodyukova OS. [The results of studying the collection of black currant on resistance to powdery mildew and septoria]. In: Kuminov EP, et al., editorial board. *Nauchnye osnovy ustoychivogo sadovodstva v Rossii. Doklady konferentsii; 2009 mart 11–12; Michurinsk*. Michurinsk: Michurinsk-naukograd; 2009. p. 357–358. Russian.
11. Fourst GG. *Metody anatoma-gistokhimicheskogo issltlovanija rastitelnykh tkaney* [Methods of anatomical and histochemical study of plant tissues]. Moscow: Nauka; 2009. 155 p. Russian.
12. Chernetskaya AG, Valetov VV. [Variability of quantitative anatomical features of a leaf of black currant (*Ribes nigrum* L.)]. In: Samus VA, general editor. *Plodovodstvo. Metodicheskoe obespechenie ustoychivogo razvitiya sovremennogo plodovodstva. Materialy nauchnoy konferentsii; 2006 sentabr 6–8; Samokhvalovichi*. Samokhvalovichi: Institut plodovodstva natsionalnoi akademii nauk Belarusi; 2006. Volume 18. Part 2. p. 92–95. Russian.
13. Shipilkevich AM. *Biologicheskie osobennosti vozбудitelja amerikanskoy muchnistoy rosy na chernoy smorodine v Belarusi i obosnovanie mer borby s boleznyu* [Biological characteristics of the causative agent of American powdery mildew on blackcurrant in Belarus and the rationale for measures to combat the disease]: [PhD thesis]. Samokhvalovichi: [publisher unknown]; 1987. 21 p. Russian.
14. Yachevsky AA. *Bolezni rasteniy (fitopatologiya): monografija* [Plant diseases (phytopathology)]. Saint Petersburg: [publisher unknown]; 1910. Volume 1. 456 p. Russian.
15. Dudzic M. *Odmiany porzeczki czarnej i agrestu*. Koneskowola: Wodr; 2012. 10 s. Polish.
16. Klebanh H. *Haupt- und Nebefruchtformen der Ascomyzeten*. Leipzig: [publisher unknown]; 1918. S. 61–72. German.
17. Todd JC. Black currant varieties their classification and identification. *Technical Ministry of Agriculture*. 1967;11:125–126.

Статья поступила в редколлегию 10.10.2019.
Received by editorial board 10.10.2019.

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 535.231.16:546.36*137:599.735.34(475.2)

МОЩНОСТЬ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ^{137}Cs В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЕВРОПЕЙСКОЙ КОСУЛИ, ОБИТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А. В. ГУЛАКОВ¹⁾, Д. Н. ДРОЗДОВ¹⁾

¹⁾Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

Приведены результаты оценки мощности поглощенной дозы от инкорпорированного ^{137}Cs в мышечной ткани европейской косули, обитающей на территории с разной плотностью радиоактивного загрязнения. Отбор проб производился в течение 1991–2007 гг. на территориях Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов Гомельской обл. Контрольную выборку составили пробы, полученные на территории Гомельского р-на. Увеличение плотности загрязнения территории ^{137}Cs ведет к нелинейному росту мощности поглощенной дозы. Вне зависимости от плотности радиоактивного загрязнения, местообитания животных наблюдается высокая вариация мощности поглощенной дозы, которая сохраняется на протяжении всего периода исследований. На территории с плотностью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs ниже 555 kBк/м^2 в течение исследования превышение уровня мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в мышечной ткани косули выше критической скрининговой величины не установлено. Обитание на данной территории косули отличается низкой вероятностью дозовых эффектов. В тоже время на

Образец цитирования:

Гулаков АВ, Дроздов ДН. Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированного ^{137}Cs в мышечной ткани европейской косули, обитающей на территории радиоактивного загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;4:55–61.

For citation:

Gulakov AV, Drozdov DN. Internal exposure dose rate from incorporated ^{137}Cs in the muscular tissue of european roe deer, living in the territory of radioactive contamination. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;4:55–61. Russian.

Авторы:

Андрей Владимирович Гулаков – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики биологического факультета.

Денис Николаевич Дроздов – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики биологического факультета.

Authors:

Andrey V. Gulakov, PhD (biology), docent; associate professor at the department of zoology, physiology and genetics, faculty of biology.

gulakov@gsu.by

Denis N. Drozdov, PhD (biology), docent; associate professor at the department of zoology, physiology and genetics, faculty of biology.

drozdov@gsu.by

территории зоны отчуждения сохраняется вероятность флуктуаций мощности поглощенной дозы, значение которой выходит за пределы скрининговой величины, что увеличивает вероятность слабых цитогенетических эффектов, влияет на заболеваемость и репродуктивную систему животных.

Ключевые слова: европейская косуля; мышечная ткань; радиоактивное загрязнение; ^{137}Cs ; мощность дозы.

INTERNAL EXPOSURE DOSE RATE FROM INCORPORATED ^{137}Cs IN THE MUSCULAR TISSUE OF EUROPEAN ROE DEER, LIVING IN THE TERRITORY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

A. V. GULAKOV^a, D. N. DROZDOV^a

^aFrancisk Skorina Gomel State University,
104 Saveckaja Street, Gomel 246019, Belarus
Corresponding author: A. V. Gulakov (gulakov@gsu.by)

The paper presents the results of estimating the absorbed dose rate from incorporated ^{137}Cs in the muscle tissue of European roe deer living in territories with different densities of radioactive contamination. Sampling was carried out during 1991–2007 in the territories of Bragin, Narovlyansky and Khoyniksky districts, Gomel region. The control sample consisted of samples obtained in the Gomel region. An increase of the ^{137}Cs contamination density leads to a nonlinear increase in the absorbed dose rate. Regardless the density of radioactive contamination of animal habitats, there is a high variation in the absorbed dose rate, which persists throughout the entire period of research. In the territory with a radioactive contamination density of ^{137}Cs below 555 kBq/m^2 during the observation period, no excess of the absorbed dose rate of internal radiation in the muscle tissue of roe deer above the critical screening value was found. Roe deer inhabit this territory with a low probability of dose effects. At the same time, the probability of fluctuations in the absorbed dose rate remains in the exclusion zone, the value of which goes beyond the screening value, which increases the probability of weak cytogenetic effects, affects the morbidity and reproductive system of animals.

Key words: european roe deer; muscle tissue; radioactive contamination; ^{137}Cs ; dose rate.

Введение

Развитие современной концепции радиационной безопасности ставит ряд актуальных задач, в том числе исследование радиоэкологии разных видов биоты, обитающих в условиях хронического внешнего и внутреннего облучения. Согласно декларированной рекомендации МКРЗ (2007 г.) и Публикации 108 МКРЗ (2008 г.) «Защита окружающей среды: концепция референтных животных и растений» [1], современная концепция радиационной защиты не может ограничиваться только безопасностью человека.

В рамках концепции рассматривается переход от антропоцентрического к экоцентрическому подходу, который достаточно подробно изложен в 108 Публикации МКРЗ и аргументирован в научных работах F. Brechignac [2], D. Delistraty [3], R. J. Pentreath, [4], P. M. Алексахин, С. В. Фесенко [5]. Согласно данному подходу, радиологические эффекты биоты могут возникать из-за путей облучения, не имеющих аналогов для человека. При этом радиационная защита биоты, как и защита человека, строится на требовании соблюдения референтного и предельного уровня дозы облучения. Он устанавливается по ожидаемому отрицательному эффекту или затратам, которые потребуются на проведение защитных мероприятий [6].

В соответствии с концепцией о референтных животных и растениях (*Reference Animals and Plants* – RAPs), предложена репрезентативная выборка из 12 животных и растений, обитающих в различных средах. Набор из 12 RAPs составлен на основании таксономической общности «семейство», так как на этом уровне радиобиологический отклик можно считать относительно постоянным. Предложены производные референтные уровни (*Derived Consideration Reference Levels* – DCRLs), характерные для каждого семейства RAPs, которые представляют диапазон мощностей поглощенной дозы, в пределах которого существует некоторая вероятность вредных эффектов от ионизирующего излучения. DCRLs могут быть использованы в качестве справочных значений при оценке затрат на защиту окружающей среды в различных ситуациях облучения (планируемой, аварийной, существующей) [7].

В докладе С.-М. Larsson для семейства *Cervidae* и так называемой группы крупных млекопитающих DCRLs был определен как $0,1\text{--}1 \text{ мГр/сут}$ [8]. В рамках европейского проекта PROTECT 2000–2008 гг. предложено распределение чувствительности видов – SSDs (*species sensitivity distribution*) и определены

величины безопасного порога облучения биоты. Для животных скрининговая величина, предназначенная для первичной оценки безопасности биоты, определена на уровне 10 мкГр/ч, или $2,4 \cdot 10^{-4}$ Гр/сут. В случае если нижняя граница облучения не превышает скринингового уровня, ситуацию можно считать безопасной [9].

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (далее – заповедник) представляется уникальной территорией, где разные представители флоры и фауны испытывают действие ионизирующего излучения от выпадения чернобыльских радионуклидов. В отдаленный период аварии основными источниками радиоактивного излучения являются ^{137}Cs и ^{90}Sr [9]. Поступление и накопление данных радионуклидов в организме животных в естественной среде происходит без каких-либо ограничений и может влиять на формирование доз облучения выше предельного уровня. В этой связи виды фауны могут служить источником информации для уточнения скрининговых или предельных доз облучения.

Второй по численности среди крупных млекопитающих, обитающих на территории заповедника, является европейская косуля (*Capreolus capreolus* L.). Вид *C. capreolus* принадлежит к семейству оленевые (Cervidae) и является репрезентативным организмом, который включен в перечень референтных животных RAPS ICPR 2008. Фактическая численность вида в лесах Беларуси, согласно работе [10], на момент 2016 г. составляла 82,1 тыс. особей, средняя плотность популяции оценивается в 7,5–8,4 особи /1000 га лесных угодий. *C. capreolus* является одним из самых многочисленных и добываемых видов диких копытных в Беларуси. По данным авиационного учета [11], на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в феврале 2017 г. численность *C. capreolus* составила 300 особей. Общая численность оценивается в 2–3 тыс. особей.

Максимальная численность косуль обитает в широколиственных лесах с хорошо развитым подлеском, где животные полностью освоили бывшие сельскохозяйственные угодья, в результате чего стал формироваться полевой экотип вида [12]. Косули Беларуси относятся к некрупному подвиду, масса тела которого в среднем составляет 32–33 кг. Питаются животные травянистой растительностью, листьями, побегам и плодами древесно-кустарниковых пород, грибами и лишайниками. В летний период предпочтение отдается травам следующих семейств: Onagraceae (кипрей), Rosaceae (гравилат), Ариасеae (сньть, дудник), Asteraceae (тысячелистник), плодам черники и брусники. Зимой косули поедают иву, бересклет, дуб, осину, рябину, крушину, чернику, вереск. Весной, до появления первой листвы на деревьях и кустарниках, звери питаются травами, поедают в больших количествах проростки пролесок, ветрениц, прострелов, сон-травы, осок и злаков. За сутки взрослое животное съедает до 3–4 кг корма летом и 2–2,5 кг зимой [13]. Из приведенных данных следует, что экология косули и структура питания тесно связаны со средним ярусом лесного фитоценоза, травяных растений лугов и заброшенных сельхозугодий.

Оценка доз внутреннего облучения референтных организмов является особенно актуальной задачей для ситуаций, когда произошло радиоактивное загрязнение территорий. Следует отметить, что в условиях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника *C. capreolus* находится в ситуации существующего облучения, где, согласно мощности дозы референтного диапазона, требуется дополнительный анализ [1].

Цель исследования: оценить уровень и динамику мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в постчернобыльский период на основании данных удельной активности мышечной ткани животных, сформированной в результате хронического поступления в организм ^{137}Cs .

Материалы и методы исследования

Объект исследований – европейская косуля (*Capreolus capreolus* L.), обитающая на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения. Добыча животных и взятие проб производилось в пределах междуречья Припяти и Днепра на территории Хойникского и Брагинского районов, а также на территории Гомельского р-на (рис. 1).

Как следует из рис. 1, места отбора проб для определения удельной активности инкорпорированного ^{137}Cs в организме *C. capreolus* охватили три пробных участка, расположенных на территории зоны отчуждения (ППЗ_{>555} более 555 кБк/м²), территория зоны отселения (ППЗ₃₇₋₅₅₅ от 185 до 555 кБк/м²) и контрольный участок (ППЗ_{<37} – до 37,0 кБк/м²). Территория зоны отчуждения, где плотность поверхностного загрязнения превышает 555 кБк/м² – это лесные массивы вблизи таких бывших населенных пунктов, как д. Борщевка, д. Молочки, д. Погонное, д. Оревичи Хойникского р-на, территория зоны отселения – лесные массивы вблизи населенных пунктов д. Жердное, д. Пучин, д. Савичи Брагинского р-на. Территория исследования расположена в междуречье Припяти и Днепра на расстоянии 10–35 км от Чернобыльской АЭС. В качестве контроля использовались данные, полученные вблизи д. Васильево, д. Долголесье, д. Кравцовка, д. Прибор, на территории Гомельского р-на. Контрольный участок расположен в бассейне р. Днепр и его правого притока р. Сож, в 100 км от Чернобыльской АЭС (ППЗ территории ^{137}Cs составляет до 37,0 кБк/м²).

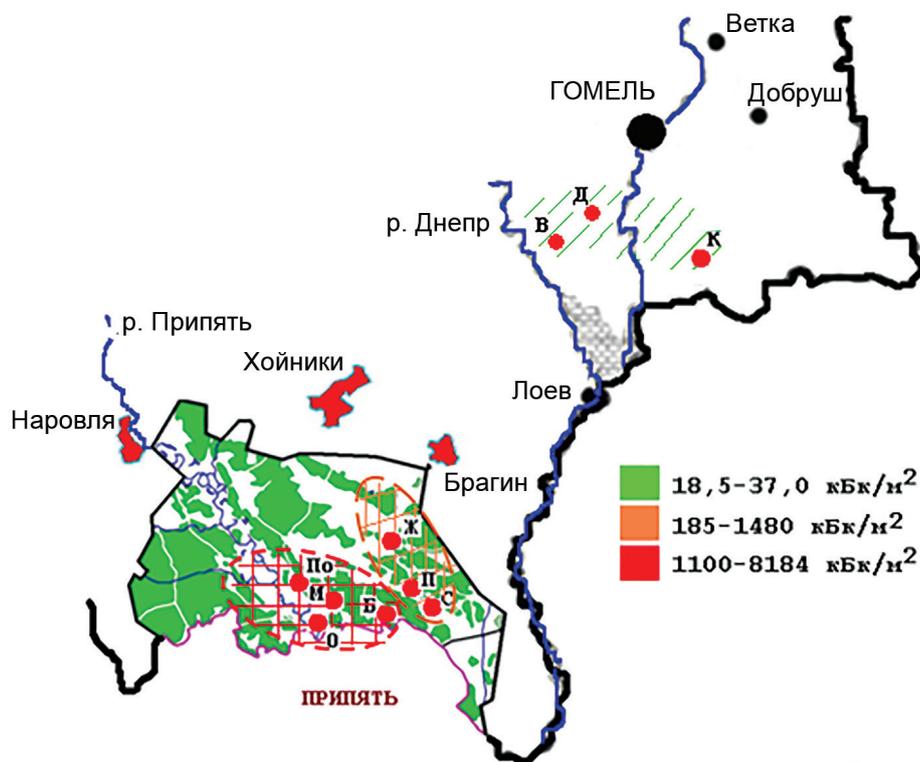


Рис. 1. Места отбора проб

Fig. 1. Sampling locations

Исследования проводились в течение 1991–2007 гг., пробы взяты от 141 особей *C. capreolus*, среди которых 93 особи изъяты из зоны отчуждения, 27 – из зоны отселения и 21 – из контрольного района. Для отбора проб использовали взрослых особей (средняя масса пробы мышечной ткани от животного составляла 500 ± 50 г). Содержание ^{137}Cs в пробах *C. capreolus* определялось на сырую, естественную массу.

Измерения удельной активности ^{137}Cs в органах и тканях диких животных выполняли на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (минимальная измеряемая активность не менее 2 Бк/кг в геометрии 0,5 л (Маринелли), эффективность регистрации на энергии 661 кэВ – $2,46 \times 10^{-2}$ имп/квант, энергетический диапазон регистрируемого γ -излучения от 50 до 3000 кэВ) и гамма-радиометре РКГ-АТ1320А (минимальная измеряемая активность – 3,7 Бк/кг, эффективность регистрации – $2,2 \times 10^{-2}$ имп/квант). Погрешность измерений не превышала 15 %, разница в показаниях приборов (спектрометра и радиометра) при повторных измерениях не превышала 4 %.

Оценку мощности поглощенной дозы внутреннего облучения у *C. capreolus* проводили от инкорпорированного в мышечной ткани ^{137}Cs . При оценке допускали, что ^{137}Cs равномерно распределен в мышечной ткани и находится в условиях равновесия, а его концентрация постоянная на протяжении года.

Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения, обусловленного инкорпорированным ^{137}Cs , рассчитывали по формуле:

$$D(t) = A \times K, \text{ где} \quad (1)$$

$D(t)$ – мощность поглощенной дозы, мкГр/сутки;

A – удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани, Бк/кг;

K – дозовый коэффициент, равный мощности дозы, создаваемой 1 Бк/кг ^{137}Cs , составляет $5,78 \times 10^{-3}$ мкГр/сутки [14].

Результаты исследования и их обсуждение

На основании данных удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани *C. capreolus* и дозиметрических расчетов были получены значения средней мощности поглощенной дозы внутреннего облучения. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Из данных, представленных в табл. 1, следует, что мощность дозы внутреннего облучения у животных, которые были отстреляны на территории с разным уровнем радиоактивного загрязнения, имеет

достоверное различие ($\alpha < 0,05$). С переходом от одной зоны к другой кратность различия возрастает на один порядок величины.

Среднее значение мощности поглощенной дозы в мышечной ткани *C. capreolus*, добытых на контрольной территории ППЗ_{<37}, составило $3,7 \pm 1,1$ мкГр/сут, в зоне отселения ППЗ₃₇₋₅₅₅ – $39,3 \pm 12,0$ мкГр/сут, в зоне отчуждения ППЗ_{>555} – $127,9 \pm 82,6$ мкГр/сут. Таким образом, с увеличением ППЗ наблюдается нелинейный рост мощности поглощенной дозы внутреннего облучения. Динамика роста мощности поглощенной дозы (y , мкГр/сут) представлена экспонентой следующего вида:

$$y = 6 \times \exp(0,008x), \quad (2)$$

где x – плотность поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs на момент добычи животного, кБк/м².

Вариация мощности поглощенной дозы внутреннего облучения от инкорпорированного в мышечной ткани ^{137}Cs у *C. capreolus*, отстрелянных на территориях с разным уровнем ППЗ, значительно различается. В контрольном районе среднее значение коэффициента вариации составило 57 %, причем для этой территории наблюдается минимальный разброс значений – от 41 % до 87 %, максимальная вариация наблюдалась в 1994 г. В зоне отселения среднее значение коэффициента вариации составило 54 %, а разброс значений – от 14 % (1995 г.) до 117 % (1999 г.), среднее значение коэффициента вариации в зоне отчуждения – 105 %, разброс значений – от 17 % (2006 г.) до 194 % (1995 г.). Следует отметить, что между показателями вариации мощности поглощенной дозы и величиной дозы на территории с разной плотностью загрязнения имеет место корреляция средней силы ($r = -0,5$), однако с годами исследований данное значение существенно не изменилось.

Таблица 1

Динамика мощности поглощенной дозы внутреннего облучения
от инкорпорированного в мышечной ткани *C. capreolus* ^{137}Cs , мкГр/сут.

Table 1

The dynamics of the absorbed dose rate of internal radiation from *C. capreolus* ^{137}Cs incorporated in muscle tissue, $\mu\text{Gy} / \text{day}$

Год	Контроль (ППЗ _{<37} кБк/м ²)	Зона отселения (ППЗ ₃₇₋₅₅₅ кБк/м ²)	Зона отчуждения (ППЗ _{>555} кБк/м ²)
1991	–	–	80,4±16,8 (66)
1992	–	–	81,2±36,6 (143)
1993	4,0±1,1 (48)	–	28,2
1994	0,2±0,1 (87)	48,7±7,4 (26)	615,9±43,0 (22)
1995	1,7±0,5 (51)	24,5±2,0	95,3±58,5 (194)
1996	1,1±0,3(47)	67,2±19,7 (51)	123,1
1997	4,3±1,5 (60)	62,0±11,2 (31)	175,1±87,3 (158)
1998	9,7±2,4 (43)	16,8±8,8 (91)	36,0±8,6 (76)
1999	2,7±1,3 (83)	49,3±33,4 (117)	13,5±8,0 (187)
2000	4,6±1,1 (41)	23,7±4,0 (29)	43,3±21,0 (153)
2001	–	–	43,3±14,7 (83)
2002	–	–	151,2±83,2 (117)
2003	5,4±1,5(48)	22,5±9,4 (72)	76,2±26,9 (112)
2004	–	–	25,4±5,2 (65)
2006	–	–	381,1±20,2 (17)
2007	–	–	76,6±56,2 (23)

Примечание. * – коэффициент вариации, %

Отсутствие однородных выборочных данных может свидетельствовать о том, что накопление ^{137}Cs и формирование дозы облучения происходит неравномерно и зависит не только от плотности поверхностного загрязнения территории. Сила влияния фактора плотности поверхностного загрязнения на

формирование мощности поглощенной дозы оценивается в 21 % ($p = 0,03$). Оставшиеся 79 % вариации значений дозы облучения, возможно, связаны с миграцией животных и участием в их трофической цепи аккумуляторов радионуклидов ^{137}Cs (например, грибов или лишайников). На рис. 2 представлена динамика мощности поглощенной дозы внутреннего облучения.

Из рис. 2 следует, что за период наблюдений на контрольной территории и территории зоны отселения, значение мощности поглощенной дозы внутреннего облучения от инкорпорированного в мышечной ткани ^{137}Cs не превысило скрининговой величины. Максимальное значение дозы облучения в зоне отселения составило $67,2 \pm 19,7$ мкГр/сут (1996 г.), что в 3,5 раза ниже скрининговой величины. Максимальное значение дозы облучения на контрольной территории составило $9,7 \pm 2,4$ мкГр/сут (1998 г.), а это в 2,5 раза ниже скрининговой величины. На территории зоны отчуждения на протяжении всего периода наблюдения имели место два выраженных всплеска мощности поглощенной дозы: первый всплеск приходился на 1994 г. и составил $615,9 \pm 43,0$ мкГр/сут, второй – на 2006 г. – $381,1 \pm 20,2$ мкГр/сут. В обоих случаях значения мощности поглощенной дозы превышают скрининговую величину, что свидетельствует об увеличении вероятности дозовых эффектов в этот период времени.

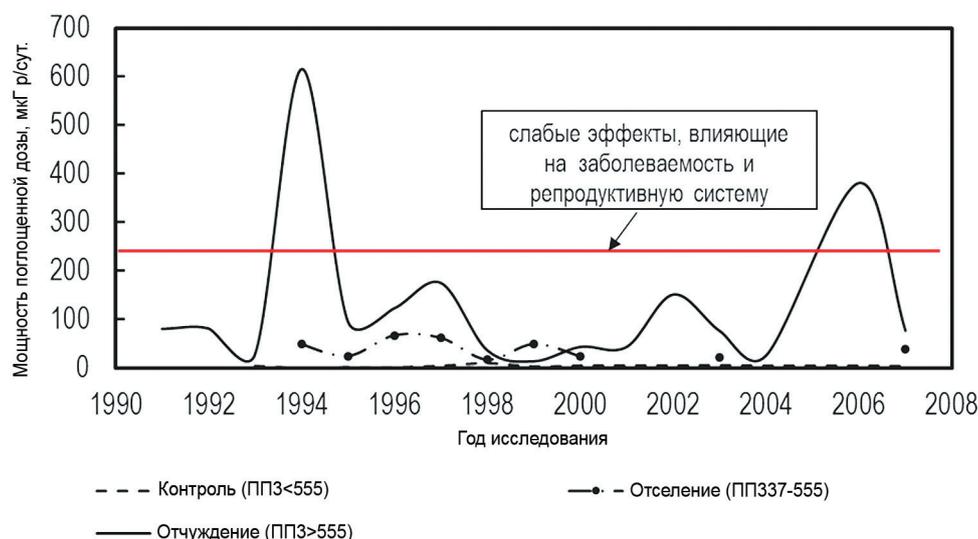


Рис. 2. Динамика мощности поглощенной дозы внутреннего облучения от ^{137}Cs , инкорпорированного в мышечной ткани *C. capreolus*.

Fig. 2. Dynamics of the absorbed dose rate of internal radiation from ^{137}Cs incorporated into muscle tissue *C. capreolus*

Заключение

Таким образом, на территории с ППЗ ^{137}Cs ниже 555 kBк/м^2 в течение всего периода наблюдения не установлено превышение уровня мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в мышечной ткани *C. capreolus* выше критической скрининговой величины. Обитание на этой территории *C. capreolus* отличается низкой вероятностью дозовых эффектов, которые могли бы повлиять на заболеваемость и репродуктивную систему животных. Однако на территории зоны отчуждения сохраняется вероятность флуктуаций мощности поглощенной дозы, значение которой выходит за пределы скрининговой величины, что увеличивает вероятность слабых цитогенетических эффектов и влияет на заболеваемость и репродуктивную систему животных.

Библиографические ссылки

1. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. *Annals of the ICRP. ICRP Publication 108*. 2008;38(4–6).
2. Brechignac F. Protection of the environment: how to position radioprotection in an ecological risk assessment perspective. *The Science of the Total Environment*. 2003;307:35–54.
3. Delistraty D. Radioprotection of nonhuman biota. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008; 99:1863–1869.
4. Pentreath RJ. Ethics, genetics and dynamics: an emerging systematic approach to radiation protection of the environment. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2004;74:19–30.
5. Алексахин РМ. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2004;44(1):93–103.
6. Малиновский ГП. Оценка доз внутреннего облучения мышевидных грызунов за счет Sr-90 [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 2014.

7. Савкин МН, Ведерникова МВ, Панченко СВ. Взаимное влияние объектов живой природы и пунктов захоронения радиоактивных отходов: экологическая и техническая безопасность. *Радиоактивные отходы*. 2018;3(4):30–38.
8. Larsson C-M. Protection of the Environment. In: *Activities of Committee 5 3rd International Symposium on the System of Radiological Protection; 2015 October 20–22; Seoul, Korea*. Venue; Seoul: ICRP, KARP; 2015. 14 p.
9. Andersson P, Beaugelin-Seiller K, Beresford NA, et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. In: *PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R)*. 2008. 112 p.
10. Рожко АВ, Власов ОК, Чунихин ЛА, Дроздов ДН. СИЧ-ориентированный метод оценки годовых доз внутреннего облучения населения в отдаленный период Чернобыльской аварии. *Радиация и риск. Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра*. 2009;18(2):48–60.
11. Козорез АИ. Ресурсы оленьих Беларуси. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2014;11:42–47.
12. Дунин ВФ, Воронетский НН, Тишкевич ВЕ, Елиашевич НВ, Пискунов ВС, Парейко ОА, Киреенко КМ. Лось и козуля. В: Пикунлик, редактор. *Природа Полесского заповедника*. Мозырь: Белый ветер; 1999. 80 с.
13. Воронетский НН, Дунин ВФ, Пискунов ВС, Киреенко КМ. Численность и биотопическое распределение диких животных в Полесском радиационно-экологическом заповеднике. В: *Биологическое разнообразие Национального парка «Припятский» и других особо охраняемых природных территорий. Сборник научных трудов, посвященный 30-летию Национального парка «Припятский» (1969–1999)*. Туров–Мозырь: [б. н.]; 1999, с. 312–315.
14. Спирин ЕВ. Метод расчета доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2009;49(5): 608–616.

References

1. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. *Annals of the ICRP. ICRP Publication 108*. 2008;38(4–6).
2. Brechignac F. Protection of the environment: how to position radioprotection in an ecological risk assessment perspective. *The Science of the Total Environment*. 2003;307:35–54.
3. Delistraty D. Radioprotection of nonhuman biota. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008;99:1863–1869.
4. Pentreath RJ. Ethics, genetics and dynamics: an emerging systematic approach to radiation protection of the environment. *Journal Environment Radioactivity*. 2004;74:19–30.
5. Aleksahin PM. *Radiatsionnaya zashchita okruzhajushchey sredy: antropotsentricheskij i ekotsentricheskij printsipy* [Environmental radiation protection: anthropocentric and ecocentric principles]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiological biology. Radioecology]. 2004;44(1):93–103. Russian.
6. Malinovskij GP. *Otsenka doz vnutrennego obluchenija myshevidnykh gryzunov za schet Sr-90* [Evaluation of the doses of internal irradiation of mouse rodents due to Sr-90]. [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown]; 2014. Russian.
7. Savkin MN, Vedernikova MV, Panchenko SV. *Vzaimnoe vlijanie otkhodov zhivoy prirody i punktov zakhoronenijaradioaktivnykh otkhodov: ekologicheskaja i tekhnicheskajan bezopasnost'* [Mutual influence of wildlife and radioactive waste disposal sites: environmental and technical safety]. *Radioaktivnye otkhody* [Radioactive waste] 2018;3(4):30–38. Russian.
8. Larsson C-M. Protection of the Environment. In: *Activities of 5 Committee 3rd International Symposium on the System of Radiological Protection; 2015 October 20–22; Seoul, Korea*. Venue; Seoul: ICRP, KARP; 2015. 14 p.
9. Andersson P, Beaugelin-Seiller K, Beresford NA, et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. In: *PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R)*. 2008. 112 p.
10. Rozhko AV, Vlasov OK, Chunihin LA, Drozdov DN. *SICH-orientirovannyj metod otsenki doz vnutrennego obluchenija naselenija v otdalennyj period Chernobyl'skoy avaryi* [WMS-based method for estimating annual doses of internal exposure to the population during the remote period of the Chernobyl accident]. *Radiaciya i risk. Byulleten' Nacional'nogo radiacionno-epidemiologicheskogo registra* [Radiation and risk]. 2009;18(2):48–60. Russian.
11. Kozorez AI. *Resursy olen'ikh v Belarusi* [Reindeer Resources of Belarus]. *Lesnoe i okhotnich'e khozyajstvo* [Forest and hunting]. 2014;11:42–47. Russian.
12. Dunin VF, Voronetskij NN, Tishkevich VE, Eliashevuch NV, Piskunov VS, Parejko OA, Kireenko KM. *Los' i kosulya* [Elk and Roe Deer]. In: Pikulik MM, editor. *Priroda Polesskogo zapovednika* [Nature of Polesky reserve]. Mозырь: Belyj veter; 1999. 80 p. Russian.
13. Voroneckij NN, Dunin VF, Piskunov VS, Kireenko KM. *Chislennost' i biotopicheskoe raspredeleniedikikh zhivotnykh v Polesskom radiatsionno-ekologicheskome zapovednike* [The abundance and biotopic distribution of wild animals in the Polesky Radiation-Ecological Reserve. In: *Biologicheskoe raznoobrazie Natsional'nogo parka «Pripyatskij» i drugikh osobo okhranaemykh territoriy. Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennykh 30-letiyu Nacional'nogo parka «Pripyatskij» (1969–1999)* [Biological diversity of the Pripyatsky National Park and other specially protected natural areas]. Туров–Мозырь: [publisher unknown]; 1999. p. 312–315. Russian.
14. Spirin EV. *Metod rascheta doz obluchenija zhivotnykh dla otsenki posledstviyazagraznenija okruzhajushchey sredy* [Method for calculating animal radiation doses for assessing the effects of environmental pollution]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*. [Radiological biology. Radioecology]. 2009;49(5):608–616. Russian.

Статья поступила в редколлегию 11.09.2019.
Received by editorial board 11.09.2019.

УДК 582.284:635.8+612.354+614.876

ИНТРОДУКЦИЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО ГРИБА *GANODERMA LUCIDUM* (CURT.: FR.) P. KARST. В КУЛЬТУРУ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В. В. ТРУХОНОВЕЦ¹), Е. М. КАДУКОВА²), Н. Н. ВЕЯЛКИНА²), С. Н. СУШКО³), Т. А. ПУЧКОВА³),
Н. А. БИСЬКО⁴), О. В. ШАХОВСКАЯ²), А. Е. КОЗЛОВ²), Е. А. МЕДВЕДЕВА²), Т. А. КОЛОДИЙ¹)

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская, 108, 246019, г. Гомель, Беларусь

²Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

³Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

⁴Институт ботаники имени Н. Г. Холодного Национальной академии наук Украины,
ул. Терещенковская, 2, 01004, г. Киев, Украина

Рассматриваются особенности получения плодовых тел *Ganoderma lucidum* на древесных и опилочных субстратах. Урожай карпофоров трутовика лакированного при культивировании на древесине составил в среднем 3,3–7,0 % от массы субстрата, на опилочных субстратах смешанных с отрубями 3,1–12,6 % от массы субстрата. В минеральном

Образец цитирования:

Трухоневец ВВ, Кадукова ЕМ, Веялкина НН, Сушко СН, Пучкова ТА, Бисько НА, Шаховская ОВ, Козлов АЕ, Медведева ЕА, Колодий ТА. Интродукция лекарственного гриба *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst. в культуру и перспективы его практического использования в условиях радиоактивного загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:62–70.

For citation:

Trukhanavets VV, Kadukova AM, Veyalkina NN, Sushko SN, Puchkova TA, Bisko NA, Shahovskaya OV, Kozlov AE, Miadzvedzeva AA, Kolody TA. Introduction of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst. in culture and prospects of its practical use in the radioactive pollution conditions. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:62–70. Russian.

Авторы:

Вячеслав Ветиславович Трухоневец – кандидат сельскохозяйственных наук; доцент кафедры лесохозяйственных дисциплин биологического факультета.

Елена Михайловна Кадукова – исполняющий обязанности заведующего лабораторией комбинированных воздействий.

Наталья Николаевна Веялкина – кандидат биологических наук; заведующий лабораторией экспериментальных биологических моделей.

Светлана Николаевна Сушко – кандидат биологических наук.

Татьяна Антоновна Пучкова – кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии биологического факультета.

Нина Анатольевна Бисько – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории микологии.

Ольга Владимировна Шаховская – младший научный сотрудник лаборатории комбинированных воздействий.

Александр Евгеньевич Козлов – научный сотрудник лаборатории эндокринологии и биохимии.

Елена Анатольевна Медведева – младший научный сотрудник лаборатории экспериментальных биологических моделей.

Татьяна Анатольевна Колодий – старший преподаватель кафедры лесохозяйственных дисциплин биологического факультета.

Authors:

Vyacheslav V. Trukhanavets, PhD (agriculture); associate professor at the department of forestry disciplines, faculty of biology.

trukhanavets@mail.ru

Alena M. Kadukova, acting head of the laboratory of combined effects.

helena.kad@mail.ru

Nataliya N. Veyalkina, PhD (biology); head of the laboratory of experimental biological models.

veyalkina@mail.ru

Sviatlana N. Sushko, PhD (biology).

svetsu50@mail.ru

Tatsiana A. Puchkova, PhD (biology); associate professor at the department of microbiology, faculty of biology.

tatiashi@mail.ru

Nina A. Bisko, doctor science of (biology); leading researcher of the laboratory of mycology.

bisko_nina@ukr.net

Olga V. Shahovskaya, junior researcher of the laboratory of combined effects.

s.o.v.94@mail.ru

Alexander E. Kozlov, researcher of the laboratory of endocrinology and biochemistry.

kozlov.alexander@yandex.ru

Alena A. Miadzvedzeva, junior researcher of the laboratory of experimental biological models.

IRB-2013@yandex.by

Tatsiana A. Kolody, senior lecturer at the department of forestry disciplines, faculty of biology.

tkolody@tut.by

составе плодовых тел гриба присутствуют необходимые для человека макро- и микроэлементы. Содержание токсичных тяжелых металлов в карпофорах гриба ниже предельно-допустимых уровней. Плодовые тела трутовика лакированного содержат 63–65 % общих углеводов, 9,6–12,5 % полисахаридов, 10–16 % истинного белка, 1,3–1,9 % общих фенольных соединений. При культивировании на древесине местных видов удельная активность цезия-137 в плодовых телах гриба не превышала 326,2 Бк/кг, коэффициент накопления – 8,32. Введение водно-спиртовых экстрактов из карпофоров *Ganoderma lucidum* снижает выраженность общих признаков интоксикации организма лабораторных животных, уменьшает степень повреждения макроскопической структуры печени, вызывает снижение активности ферментов – маркеров поражения печени.

Ключевые слова: *Ganoderma lucidum*; гриб; субстрат; культивирование; биохимический состав; цезий-137; гепатопротекторная активность.

INTRODUCTION OF THE MEDICINAL MUSHROOM *GANODERMA LUCIDUM* (CURT.: FR.) P. KARST. IN CULTURE AND PROSPECTS OF ITS PRACTICAL USE IN THE RADIOACTIVE POLLUTION CONDITIONS

V. V. TRUHOVETS^a, A. M. KADUKOVA^b, N. N. VEYALKINA^b, S. N. SUSHKO^c, T. A. PUCHKOVA^c,
N. A. BISCO^d, O. V. SHACHOVSKAYA^b, A. E. KOZLOV^b, A. A. MIADZVEDZEVA^b, T. A. KOLODY^a

^aFrancisk Skorina Gomel State University,
104 Saveckaja Street, Gomel 246019, Belarus

^bInstitute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus,
4 Fiadzuninskaga Street, Gomel 246007, Belarus

^cBelarusian State University,

4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^dM. G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Ukraine,
2 Tereshchenkovskaja Street, Kiev 01004, Ukraine

Corresponding author: V. V. Truhonovets (trukhanavets@tut.by)

The prospects of artificial cultivation of *Ganoderma lucidum* are shown. The peculiarities of producing fruit bodies of *Ganoderma lucidum* on wood and wood substrates were given. Harvest of carpophores of *Ganoderma lucidum* cultivated on wood was on average 3.3–7.0 % by weight of the substrate and on sawdust mixed with bran was 3.1–12.6 % by weight of the substrate. The mineral composition of the fruit bodies of the fungus is shown. The content of toxic heavy metals in carpophores of the fungus is below the maximum permissible levels. The fruiting bodies of the *Ganoderma lucidum* contain 63–65 % of total carbohydrates, 9.6–12.5 % of polysaccharides, 10–16 % of protein, 1.3–1.9 % of total phenolic compounds. The specific activity of cesium-137 in the fruit bodies of the fungus did not exceed 326,2 Bq/kg, and the rate of accumulation was of 8.32. The introduction of water and alcohol extracts of *Ganoderma lucidum* inside the stomach of mice reduces severity of common symptoms of intoxication, the degree of damage to the macroscopic structure of the liver of laboratory animals reduced, and the activity of enzymes - markers of liver damage.

Key words: *Ganoderma lucidum*; mushroom; substrate; cultivation; chemical composition; cesium-137; hepatoprotective activity.

Введение

В природе известно около 30 тыс. видов базидиомицетов, из них более 600 видов из разных семейств и порядков представлены трутовыми грибами. Большинство трутовиков – дереворазрушающие базидиомицеты (ксилотрофы), выполняющие уникальные экосистемные функции и характеризующиеся выраженными физиолого-биохимическими особенностями. Благодаря мощному ферментативному аппарату они осуществляют деструкцию сложных биополимеров (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, пектиновых веществ), поражая ценные лесные породы и повреждая многие материалы [1]. Однако эта же способность трутовиков определяет и их важнейшую роль, которую они играют в лесных экосистемах. Выступая в качестве утилизаторов отмершей древесины, трутовики не только влияют на продуктивность лесных сообществ и их экологическое состояние, но и представляют собой «важнейшую группу организмов, открывающую основной маршрут деструкции органического углерода на Земле» [2].

В настоящее время трутовики используются для утилизации отходов, получения чистой целлюлозы из древесины и вторсырья, в бумажном, текстильном и ряде других производств [3]. Известно также, что компоненты этих грибов проявляют противовирусные, цитостатические, иммуномодулирующие,

антидиабетические, антиоксидантные свойства [4], поэтому ксилотрофные базидиомицеты и их культивирование привлекают все большее внимание исследователей [5; 6].

Одним из самых перспективных из трутовиков для создания лекарственных и лечебно-профилактических препаратов является трутовик лакированный (ганодерма блестящая, *Ganoderma lucidum* (Curtis: Fr.) P. Karst). Этот гриб является продуцентом различных по химической природе и спектру действия биологически активных веществ, обладающих противоопухолевым, иммуномодулирующим, противовирусным, гепатопротекторным, антиоксидантным, гипогликемическим, антидиабетическим и кардиотонизирующим действием [7–9].

Лечебные свойства *G. lucidum* в течение сотен лет широко используются в народной медицине стран Юго-Восточной Азии, где гриб известен под названиями рейши (Япония), лин-чжи (Китай, Корея). В Японии он считается грибом бессмертия, дающим духовные силы, его рекомендуется применять при коронарной сердечной недостаточности, хронических бронхитах, гипертонии, как антидот при грибных отравлениях, диуретик и слабительное, иммуностимулятор и антиоксидант [10].

В дикорастущем виде в Беларуси трутовик лакированный встречается редко, поэтому данный вид включен в Красную книгу страны. Кроме того, заготовка дикорастущего сырья для получения из него лекарственных препаратов в некоторых случаях не только экономически не выгодна, но и может быть опасной, поскольку плодовые тела трутовика могут накапливать вредные компоненты, в частности тяжелые металлы и радионуклиды. В настоящее время отмечается повышенный научный интерес к искусственному выращиванию культур этого гриба, что позволяет не только контролировать условия роста и добиваться нужного качества сырья, но и получить необходимые метаболиты. Таким образом, учитывая количественные показатели природных запасов *G. lucidum* и экологические условия произрастания их в Беларуси, в том числе на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, актуальны исследования по его введению в искусственную культуру с целью получения плодовых тел и выделения биологически активных веществ.

Цели исследования: изучить влияние субстрата на плодоношение, биохимический состав плодовых тел и накопление цезия (^{137}Cs) *G. lucidum*; оценить гепатопротекторную активность водно-спиртовых экстрактов трутовика лакированного в эксперименте.

Материалы и методы исследования

В работе использовали штаммы гриба *G. lucidum*, которые поддерживали на агаризованной питательной среде (сусло-агар, 8 °Б) [11]. Для выращивания плодовых тел *G. lucidum* применяли субстраты из древесины (отрубки) местных видов (Гомельская обл.), а также из опилок в чистом виде или смешанных с отрубями, овсяной лузгой в различных весовых соотношениях. Древесину и опилочные субстраты, влажность которых составляла 60–65 %, фасовали в пакеты из термостойкой пленки и стерилизовали в паровом автоклаве при давлении 0,09–0,12 МПа в течение 1–2 ч. После охлаждения субстраты в стерильных условиях инокулировали зерновым посевным мицелием *G. lucidum* разных штаммов в количестве 2–5 % от массы субстрата и инкубировали при 26 °С в течение 30 суток. На 30-е сутки организовывали условия для получения плодовых тел гриба.

Влажность порошка плодовых тел находили весовым методом. Содержание общего азота в образцах определяли по Кьельдалю, затем рассчитывали содержание сырого протеина ($\times 6,25$). Истинный белок в образцах определяли по Барнштейну [12]. Липиды экстрагировали методом Фолча [13]. Общие углеводы определяли фенол-сернокислотным методом после предварительного гидролиза образца 72 % серной кислотой [14], полисахариды – фенол-сернокислотным методом после экстракции образца 1 н. раствором NaOH [15]. Общие фенольные соединения определяли в спиртовых экстрактах плодовых тел с реактивом Фолина–Дениса [16]. Антиоксидантную активность образцов определяли по Накатани в модификации Капича [17]. Об антиокислительных свойствах образцов судили по их способности тормозить образование продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК). За 100 % принимали величину антиокислительной активности антиоксиданта ионола.

Определение минерального состава плодовых тел *G. lucidum* проводили в аналитической лаборатории РУП «Белгослес» (г. Минск) на оптико-эмиссионном спектрометре (ICP-спектрометр «Vista AX ICP – AES», Varian) с аксиальным обозрением плазмы.

Измерение удельной активности ^{137}Cs в высушенных до воздушно-сухого состояния образцах проводили в лаборатории радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси на гамма-радиометре РКГ АТ 1320А. На основании полученных данных рассчитывали коэффициент накопления ($K_{\text{н}}$) ^{137}Cs как отношение содержания радионуклида в карпофорах гриба к содержанию радионуклида в древесине.

Гепатопротекторную активность водно-спиртовых экстрактов из *G. lucidum* 142 исследовали на мышах линии A/f обоего пола. Экспериментальные животные содержались в условиях стационарного вивария на полноценном стандартном пищевом рационе. Использование животных в эксперименте проводилось с соблюдением норм и правил, регламентированных международными рекомендациями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов в научных или иных целях (1986) и Директивы 86/609 ЕЭС, основанной на тексте этого соглашения (*Dr. Robert Hubrecht, Current EU Legislation Controlling Animal Experiments*).

Водно-спиртовые экстракты *G. lucidum* 142 готовили путем настаивания на водяной бане 10 г высушенных плодовых тел в дистиллированной воде (1г/3мл) в течение 30 мин. при 80 °С, после остывания добавляли 96 % этиловый спирт (76 мл); настаивание продолжалось в плотно закрытой колбе при комнатной температуре в течение 5 сут. без доступа солнечного света. Готовый экстракт фильтровали и хранили при температуре 4 °С.

Для создания модели острого поражения печени мышам экспериментальных групп вводили тетрахлорметан (ТХМ) в виде 50 % раствора на оливковом масле в дозе 2 мл/кг подкожно в 1-е и 3-и сут. эксперимента. На 4-е сут. проводилось общее однократное облучение животных в дозе 3 Гр на гамма-установке «ИГУР» (¹³⁷Cs, 0,62 мГр/мин). Были сформированы следующие группы животных:

Группа 1. «Контроль» – животные, получавшие инъекции растворителя (оливковое масло) дважды в 1-е и 3-и сут. эксперимента.

Группа 2. «ТХМ» – животные, дважды получившие инъекции 50 % раствора ТХМ в оливковом масле в 1-е и 3-и сут.

Группа 3. «ТХМ + облучение 3 Гр» – животные, которые после подкожных инъекций 50 % раствора ТХМ в 1-е и 3-и сут., были облучены в 4-е сут. в дозе 3 Гр.

Группа 4. «ТХМ + Хофитол» – животные, получавшие инъекции ТХМ по выше описанной схеме с последующим введением, начиная с 5-ых сут. эксперимента, препарата сравнения Хофитол (Chophytol, Laboratoires Rosa-Phytopharma, Франция) в виде спиртового раствора в суточной дозе 1,5 мл/кг.

Группа 5. «ТХМ + 3 Гр + Хофитол», которая аналогична Гр. 4, в 4-е сут. проводилось облучение в дозе 3 Гр.

Группа 6. «ТХМ + водно-спиртовой экстракт *G. lucidum* в дозе Д₁».

Группа 7. «ТХМ + 3 Гр + водно-спиртовой экстракт *G. lucidum* в дозе Д₁».

Группа 8. «ТХМ + водно-спиртовой экстракт *G. lucidum* в дозе Д₂».

Группа 9. «ТХМ + 3 Гр + водно-спиртовой экстракт *G. lucidum* в дозе Д₂».

Группа 10. «ТХМ» + водно-спиртовой экстракт *G. lucidum* в дозе Д₃.

Группа 11. «ТХМ + 3 Гр + водно-спиртовой экстракт *G. lucidum* в дозе Д₃». Экспериментальные животные групп 6–10 и 11 после соответствующих воздействий ТХМ и облучения получали с питьем водно-этанольные экстракты *G. lucidum* в средней дозе 0,5 мл/кг (Д₁), 1,5 мл/кг (Д₂) и 4,5 мл/кг (Д₃) соответственно. Препарат сравнения и исследуемые экстракты *G. lucidum* животные получали ежедневно до вывода из эксперимента.

Наблюдение за клиническим состоянием животных вели на протяжении всего экспериментального периода. Животных выводили из эксперимента на 14 и 30-е сут. после облучения путем декапитации на фоне глубокого эфирного наркоза. В сыворотке крови определяли активность аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспаратаминотрансферазы (АсАТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), ТБК-реактивных продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) общепринятыми методами, концентрацию общего белка.

Кроме того, эффективность гепатопротекторного действия экстрактов определяли по динамике массы тела и печени мышей.

Результаты обрабатывали методами вариационной статистики с использованием параметрических (Стьюдента) и непараметрических (Манна–Уитни) критериев при уровне статистической значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

С целью оценки перспективности использования местных растительных субстратов для культивирования трутовика лакированного изучались особенности плодоношения штаммов *G. lucidum* на стерилизованных древесных отрубках и субстратах, состоящих из опилок ряда древесных видов, в том числе в смеси с отрубями или овсяной лузгой.

Образование карпофоров *G. lucidum* 142 на стерильной древесине дуба и березы отмечено через 9–10 мес. после инокуляции субстрата, на березовой древесине – через 11–12 мес. Наибольший выход плодовых тел гриба за 15-месячный период плодоношения показан для дубовой и березовой древесины – в среднем 4,7 и 7,0 % от массы субстрата (табл. 1).

Таблица 1

Показатели плодоношения *Ganoderma lucidum* 142 на стерильной древесине разных пород в регулируемых условиях

Table 1

Fruiting body production of *Ganoderma lucidum* 142 on sterile wood of different species under controlled conditions

Субстрат	Показатель, единица измерения	В среднем	Минимум	Максимум
Береза	Масса плодовых тел, г	52,0±8,8	26,7	65,4
	Масса субстрата, г	754,0±129,2	510,0	1038,0
	Урожай плодовых тел, %	7,0±0,9	5,2	9,4
Дуб	Масса плодовых тел, г	82,4±17,0	32,7	109,2
	Масса субстрата, г	1970,0±531,7	982,0	3229,0
	Урожай плодовых тел, %	4,7±1,2	2,8	8,1
Осина	Масса плодовых тел, г	27,6±9,5	13,4	45,6
	Масса субстрата, г	855,0±71,8	761,0	996,0
	Урожай плодовых тел, %	3,3±1,2	1,8	5,6

В результате проведенных исследований выявлено, что срок культивирования *G. lucidum* до начала образования карпофоров можно значительно сократить, если использовать в качестве субстрата древесные опилки ольхи, березы, осины, дуба, обогащенные отрубями или овсяной лузгой. При культивировании на опилочных субстратах примордии *G. lucidum* появлялись через 35–60 сут. после инокуляции субстрата. Плодовые тела росли в среднем 60–70 сут. Урожайность карпофоров повышалась при добавлении в опилочный субстрат отрубей и овсяной лузги.

При изучении минерального состава плодовых тел *G. lucidum*, полученных при искусственном культивировании, показано, что в них присутствуют необходимые для человека макро- и микроэлементы. Так, концентрация кальция составляла 800–1679 мг/кг, цинка – 36,98–40,0 мг/кг, железа – 35,45–49,95 мг/кг, натрия – 26,56–86,57 мг/кг. В состав плодовых тел также входят важные микроэлементы (медь, марганец, бор, алюминий, барий). В грибах выявлены такие элементы, как селен, молибден, никель, хром, кобальт. Ртуть в карпофорах не обнаружена. Необходимо отметить, что концентрация токсичных тяжелых металлов в плодовых телах *G. lucidum* была ниже предельно-допустимых уровней, указанных в п. 6.1 Гигиенического норматива «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов» Санитарных норм и правил «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам».

Как следует из данных, представленных в табл. 2, состав субстрата оказывал влияние и на биохимический состав плодовых тел.

Таблица 2

Биохимический состав плодовых тел *Ganoderma lucidum*, % от сухой биомассы

Table 2

Biochemical composition of the fruiting bodies of *Ganoderma lucidum*, percent of dry biomass

Образец	Белок общий	Белок истинный	Липиды	Углеводы	Полисахариды	Общие фенольные соединения
Опилки осиновые, отруби, 4:1	22,0±1,2	16,0±0,5	6,8±0,3	65,2±1,8	12,5±0,4	1,3±0,1
Опилки осиновые, отруби, 9:1	21,5±1,4	14,4±0,4	6,5±0,2	65,6±1,1	10,7±0,5	1,5±0,1
Опилки осиновые, отруби, 95:5	20,8±0,3	12,0±0,2	6,4±0,1	64,2±1,5	9,8±0,4	1,8±0,2
Опилки дубовые, отруби, 4:1	20,5±0,5	15,8±0,4	6,8±0,2	65,3±1,1	12,0±0,5	1,7±0,1
Опилки дубовые, отруби, 9:1	18,6±0,4	13,8±0,3	6,6±0,1	64,2±0,9	11,3±0,6	1,9±0,2
Опилки дубовые, отруби, 95:5	18,2±0,7	12,6±0,4	6,4±0,1	64,5±0,8	9,6±0,2	1,9±0,1
Опилки сосновые	16,4±0,3	10,2±0,2	6,5±0,2	63,6±0,4	11,8±0,4	1,9±0,3

На опилках дуба, осины и сосны плодовые тела содержали больше общих фенольных соединений (1,8–1,9 %). Добавление к опилкам пшеничных отрубей от 9:1 до 4:1 приводило к увеличению в плодовых телах количества общего и истинного белка (на 10–12 % и 20–25 %, соответственно) и полисахаридов (на 20 %). Состав субстрата незначительно влиял на содержание липидов. Показано, что 70 % спиртовые экстракты плодовых тел проявляли высокую антиоксидантную активность – 92–95 % по отношению к активности антиоксиданта ионола. Более высокий уровень активности коррелировал с содержанием общих фенольных соединений.

Контроль исходного субстрата и получаемых плодовых тел *G. lucidum* на содержание радионуклидов является обязательным при искусственном выращивании грибов. При использовании для выращивания трутовика лакированного древесины с удельной активностью ^{137}Cs от 22,4 Бк/кг до 78,4 Бк/кг удельная активность последнего в плодовых телах не превышает 326, 2 Бк/кг (табл. 3).

Таблица 3

Содержание ^{137}Cs в сухих карпофорах *Ganoderma lucidum* 142

Table 3

The content of ^{137}Cs in dry carpophores of *Ganoderma lucidum* 142

Субстрат	Удельная активность ^{137}Cs субстрата, Бк/кг	Удельная активность ^{137}Cs карпофоров, Бк/кг	K_n
Береза	22,4	186,4	8,32
Осина	35,9	263,3	7,38
Дуб	78,4	326,2	4,16

Коэффициент накопления ^{137}Cs карпофорами *G. lucidum* при выращивании на древесине составляет 4,16–8,32. Таким образом, в Беларуси при использовании в качестве субстрата местной древесины можно получать плодовые тела *G. lucidum* с содержанием ^{137}Cs ниже предельно допустимой нормы – 2500 Бк/кг (РДУ–99).

Вид *G. lucidum* используется в народной медицине в лечении гепатопатий, хронического гепатита, нефрита, в качестве средства от язвы желудка. В эксперименте на мышах линии *Af* была исследована гепатопротекторная активность водно-этанольных экстрактов высушенных плодовых тел *G. lucidum* 142.

Известно, что классическая модель острого токсического гепатита, индуцированная ТХМ, приводит к нарушению многих функций печени: синтетической, дезинтоксикационной, нарушению прооксидантно-антиоксидантного равновесия, гиперпродукции провоспалительных цитокинов и др. [18; 19]. Эта модель патологии паренхиматозных клеток печени широко используется для решения различных проблем клинической и экспериментальной гепатологии, в том числе и для поиска новых эффективных гепатозащитных средств.

Механизмы гепатотоксичности галогенизированных углеводородов, в том числе и ТХМ, связывают с мембраноповреждающим эффектом, который приводит к расстройству функционирования каскада митохондриальных и микросомальных ферментов, участвующих в поддержании гомеостаза клетки, ее репарации и элиминации ксенобиотиков или их метаболитов [20].

Введение мышам ТХМ и последующее облучение вызывали интоксикацию организма животных, которая проявлялась нетипичным поведением (пассивность и малоподвижность в ранние сроки после воздействия) и сопровождалась снижением массы тела на 7-е и 14-е сут. после облучения у животных всех экспериментальных групп относительно значения в группе «Контроль». На 21-е и 30-е сут. эксперимента отмечалась положительная динамика в увеличении массы тела, однако для групп животных, употреблявших водно-этанольные экстракты гриба и препарат сравнения, и группы «ТХМ + 3 Гр» сохранялось различие их значений по сравнению с группой «Контроль» ($p < 0,05$).

Поражение печени после введения ТХМ сопровождалось повышением отека печеночной ткани и указывало на нарушение гемодинамики в органе. Во всех группах экспериментальных животных отмечалось увеличение относительной массы печени, при этом значения этого показателя в 14-е сут. превышали уровень контроля в 1,04–1,26 раза, а на 30-е сут. – в 0,26–1,21 раза. Подтверждением протекания воспалительного процесса в печени было повышение активности фермента гепатобилиарной системы – щелочной фосфатазы. Высокое содержание этого фермента на фоне нарушения желчеотделения указывает на холестаза в печени. На 14-е сут. содержание ЩФ в сыворотке у мышей группы «ТХМ» было в 1,23 раза, а в группе «ТХМ + 3 Гр» в 2,21 раза выше, чем в группе «Контроль». При этом в группах мышей, которые употребляли водно-этанольные экстракты гриба на фоне поражения ТХМ, значения

содержания ЩФ практически нормализовалось, но в группах комбинированного действия факторов оставалось сниженным.

Установлено, что уже в первые часы после введения ТХМ на начальных этапах гепатотоксичности происходит резкое нарастание активности ферментов АлАТ, АсАТ и ЛДГ [21]. Повышение активности в крови ферментов, специфичных для гепатоцитов, рассматривается как проявление цитолитического синдрома и обусловлено их выходом из клеток в кровь в результате повышения проницаемости мембран гепатоцитов. Биохимическим механизмом этого феномена является активация ПОЛ мембранных фосфолипидов в поврежденной печени мышей экспериментальных групп.

На 14-е сут. содержание АлАТ, АсАТ и ЛДГ в сыворотке крови мышей группы «ТХМ» в 1,97, в 1,83 и 1,51 раза превышало значение соответствующего контроля (табл. 4).

Таблица 4

Некоторые биохимические показатели сыворотки мышей (14-е сут. после действия исследуемых факторов)

Table 4

Some biochemical parameters of the serum of mice (14th days after effects of investigated factors)

Экспериментальная группа	ЛДГ, Ед./л	АсАТ, Ед/л	АлАТ, Ед/л
Контроль	853,6±29,7	69,14±5,75	39,27±2,48
ТХМ	1292,0±19,8*	126,4±5,3*	77,55±3,89*
ТХМ+3 Гр	1425,0±18,0*	121,4±9,28*	86,59±7,73*
ТХМ+Хофитол	1182,0±19,3*	116,8±6,1*	76,3±6,25*
ТХМ+3 Гр +Хофитол	1279,±25,0*^	109,9±3,24*^	69,53±7,10*^
ТХМ+Экстракт Д ₁	1103,0±14,9*	105,1±3,6*	59,5±3,0*
ТХМ+3 Гр+Экстракт Д ₁	1229,0±67,4*^	104,3±5,46*^	72,11±5,77*^
ТХМ+ Экстракт Д ₂	952,0±16,5*	111,2±5,1*	52,1±9,4
ТХМ+3Гр+Экстракт Д ₂	976,7±69,5*^	90,36±4,64*^	71,09±7,84*^
ТХМ+Экстракт Д ₃	1011,0±34,0*	103,7±8,4*	79,2±4,6*
ТХМ+3 Гр+Экстракт Д ₃	920,1±18,9*^	75,94±4,19^	60,60±2,56*^

* – различия достоверны при $p < 0,05$ по сравнению со значением в группе «Контроль»

^ – различия достоверны при $p < 0,05$ по сравнению с значением в группе «ТХМ + 3 Гр»

У мышей группы «ТХМ + 3 Гр» отмечалось усиление цитолиза гепатоцитов, поскольку уровень АлАТ и ЛДГ в крови на 14-е сут. превышал значения в группе «ТХМ». Уровень АсАТ при этом не изменялся, так как значительная доля АсАТ-ной активности гепатоцитов приходится на митохондрии, что способствует большей радиорезистентности фермента: повышенный выход его молекул в сыворотку крови происходит при более высоких дозах облучения [22].

У мышей, получавших водно-этанольный экстракт гриба *G. lucidum*, происходило снижение содержания АлАТ, АсАТ и ЛДГ в сыворотке по отношению к соответствующему показателю в группах не-леченых животных, хотя не достигало уровня интактного контроля (табл. 4).

К 30-м сут. наблюдения у мышей, получавших водно-этанольные экстракты *G. lucidum*, в группах с ТХМ повреждением и в группах комбинированного воздействия факторов (ТХМ + 3 Гр), содержание АлАТ, АсАТ и ЛДГ в крови не отличалось от значений соответствующего контроля, в то время как в группах «ТХМ» и «ТХМ + 3 Гр» оставалось повышенным ($p < 0,05$).

Анализ уровня общего белка в крови у мышей с токсическим гепатитом указывал на подавление протеинсинтезирующей функции печени. Установлено, что прием экстрактов *G. lucidum* приводит к повышению уровня общего белка в сыворотке мышей с ТХМ-гепатитом, что можно расценивать как их способность положительно влиять на белок-синтетическую функцию печени.

Гиперхолестеринемия при токсическом гепатите может быть обусловлена нарушением включения холестерина в синтез липополисахаридов высокой плотности (ЛПВП). Нами показано, что формирование ТХМ-гепатита у мышей привело к достаточно выраженному снижению ЛПВП в сыворотке в различные сроки наблюдения. У мышей, получавших с лечебной целью водно-этанольные экстракты гриба, уровень ЛПВП в сыворотке был повышен по сравнению со значением в группе «ТХМ».

Известно, что одним из механизмов развития ТХМ-индуцированного повреждения печени является активация свободно-радикальных процессов, а накопление ТБК-активных продуктов в сыворотке – один из показателей нарушения окислительно-восстановительного баланса в поврежденном органе. Интоксикация мышей ТХМ приводила к значительному повышению ТБК-активных продуктов в сыворотке.

Лечение экспериментальных животных водно-этанольными экстрактами *G. lucidum* привело к снижению количества вторичных продуктов ПОЛ по сравнению со значениями в группах «ТХМ» и «ТХМ+3 Гр» в 14-е и 30-е сут.

Таким образом, изменение динамики трансаминазной активности, показателей ЩФ и ЛДГ, уровня ТБК-активных продуктов на фоне повышения синтеза белка и ЛПВП свидетельствует о гепатопротекторной активности водно-этанольных экстрактов *G. lucidum* 142 в исследуемых концентрациях при комбинированном действии на мышей линии AfТХМ и облучения в дозе 3 Гр.

Заключение

Показаны особенности получения плодовых тел и урожайность *G. lucidum* на древесных и опилочных субстратах. Содержание токсичных тяжелых металлов в карпофорах гриба ниже предельно-допустимых уровней. Плодовые тела трутовика лакированного содержали 63–65 % общих углеводов, 9,6–12,5 % полисахаридов, 10–16 % истинного белка, 1,3–1,9 % общих фенольных соединений. При использовании для выращивания *G. lucidum* древесины с удельной активностью Cs-137 22,4–78,4 Бк/кг, удельная активность полученных плодовых тел не превышает 326,2 Бк/кг, коэффициент накопления – 8,32. При употреблении водно-спиртовых экстрактов из плодовых тел *G. lucidum* снижается выраженность общих признаков интоксикации организма лабораторных животных, уменьшается степень повреждения макроскопической структуры печени. Динамика изменения активности трансаминазных ферментов, щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, а также концентрации общего белка у мышей с острым гепатитом на фоне приема водно-этанольных экстрактов *G. lucidum* свидетельствует об их гепатопротекторной активности. Таким образом, анализ особенностей роста и плодоношения *G. lucidum* на местных растительных субстратах, биохимического состава и биологически-активных свойств водно-этанольных экстрактов гриба показывает перспективность интродукции трутовика лакированного в промышленную культуру Беларуси.

Библиографические ссылки

1. Ильина ГВ, Лыков ЮС. Биологические особенности видов ксилотрофных базидиомицетов лесостепи правобережного Поволжья *in situ* и *ex situ*. *Поволжский экологический журнал*. 2010;3:263–273.
2. Заварзин ГА. *Лекции по природоохранной микробиологии*. Москва: Наука; 2004. 348 с.
3. Гаврилова ВП, Шамолина ВП, Белова НВ. Возможности нетрадиционного использования базидиомицетов в кожевенном и текстильном производстве. *Биотехнология*. 2002;5:74–80.
4. Автономова АВ, Краснополяская ЛМ. Противоопухолевые и иммуномодулирующие свойства гриба бессмертия *Ganoderma lucidum*. В: Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. Москва: Российская академия естественных наук; 2007. Выпуск 16. с. 216–226.
5. Шашкина МЯ, Шашкин ПН, Сергеев АВ. Химические и медико-биологические свойства чаги (обзор). *Химико-фармацевтический журнал*. 2006;40(10):37–44.
6. Краснополяская ЛМ, Ярина МС, Автономова АВ, и др. Сравнительное изучение противоопухолевой активности полисахаридов из мицелия *Ganoderma lucidum* в опытах *in vivo*. *Антибиотики и химиотерапия*. 2015;60(11–12):29–34.
7. Wasser SP, Coates P, Blackman M, et. al. *Encyclopedia of Dietary Supplements. Reishi or Lingzhi*. New York: Marcel Dekker; 2005. p. 680–690.
8. Pan D, Wang L, Chen C. Isolation and characterization of a hyperbranched proteoglycan from *Ganoderma lucidum* for anti-diabetes. *Carbohydrate Polymers*. 2015;(117):106–114. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.09.051.
9. Cheng S, Sliva D. *Ganoderma lucidum* for cancer treatment; we are close but still not there. *Integration Cancer Ther*. 2015;14(3):249–257. DOI: 10.1177/1594735414568721.
10. Денисова НП. *Лечебные свойства грибов. Этномикологический очерк*. СПб: Санкт-Петербургский государственный медицинский университет; 1998. 264 с.
11. Бухало АС. *Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре*. Киев: Наукова думка; 1988. 144 с.
12. Ермаков АИ. *Методы биохимического исследования растений*. Ленинград: Гидрометеоздат; 1987. 430 с.
13. Folch I, Lees M, Stanley GHS. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal Biological Chemistry*. 1957;226(1):497–509.
14. Гончарова ИА, Щерба ВВ, Бабицкая ВГ. Полисахариды клеточной стенки базидиомицета *Coriolus hirsutus*. *Прикладная биохимия и микробиология*. 1996;32(4):434–437.
15. Tang YJ, Zhong JJ. Fed-batch fermentation of *Ganoderma lucidum* for hyperproduction of polysaccharide and ganoderic acid. *Enzyme and Microbial Technology*. 2002;31(1–2):20–28.
16. Запрометов МН. *Фенольные соединения растений: биосинтез, превращение, функции*. Москва: Наука; 1985.
17. Капич АН. Антиокислительная активность экстрактов мицелия ксилотрофных базидиомицетов. *Микология и фитопатология*. 1995;29(5–6):35–40.
18. Кантюков СА, Кривожижина ЛВ, Фархутдинов РР. Состояние процессов свободнорадикального окисления при остром поражении печени. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. 2011;39:107–112.
19. Weber LW, Boll M, Stampfl A. Hepatotoxicity and mechanism of action of haloalkanes: carbon tetrachloride as a toxicological model. *Critical Reviews in Toxicology*. 2003;33:105–136.
20. Мышкин ВА. Экспериментальная оценка производных пиримидина на моделях токсического поражения печени: обзор. *Медицинские науки*. 2016;3:88–98.

21. Заводник ИБ. Ингибирование функциональной активности митохондрий печени крыс при ее токсическом поражении тетрахлорметаном. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2015;4:104–110.
22. Нерсесова ЛС, Газарянц МГ, Мкртчян ЗС, и др. Влияние ионизирующей радиации на ферментные активности и состояние ядерно-ядрышкового аппарата гепатоцитов крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2013;53(1):1–8.

References

1. Ilyina GV, Lykov YuS. *Biologicheskie osobennosti vidov ksilotrofnyykh bazidiomitsetov lesostepi pravoberezhnogo Pobolzhya in situ i ex situ* [Biological characteristics of species of xylophilic basidiomycetes of the forest steppe of the right bank of the Volga in situ and ex situ]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2010;3:263–273. Russian.
2. Zavarzin GA. [Lectures on Natural Microbiology]. Moscow: Nauka; 2004. 348 p. Russian.
3. Gavrilova VP, Shamolina VP, Belova NV. Possibilities of non-traditional use of basidiomycetes in leather and textile production. *Biotehnologiya* [Biotechnology]. 2002;5:74–80. Russian.
4. Avtonomova AV, Krasnopolskaya LM. Antitumor and immunomodulating properties of the fungus of immortality *Ganoderma lucidum*. In: *Non-traditional natural resources, innovative technologies and products*. Moscow: Rossiyskaya akademija estestvennykh nauk; 2007. Volume 16. p. 216–226. Russian.
5. Shashkina MYa, Shashkin PN, Sergeev AV. Chemical and biomedical properties of *Inonotus obliquus* (review). *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* [Chemical and Pharmaceutical Journal]. 2006;40(10):37–44. Russian.
6. Krasnopolskaya LM, Yarina MS, Avtonomova AV, et al. Antitumor activity of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* Mycelium: *in vivo* comparative study. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and chemotherapy]. 2015;60(11–12):29–34.
7. Wasser SP, Coates P, Blackman M, et al. *Encyclopedia of Dietary Supplements. Reishi or Lingzhi*. New York: Marcel Dekker; 2005. p. 680–690.
8. Pan D, Wang L, Chen C, et al. Isolation and characterization of a hyperbranched proteoglycan from *Ganoderma lucidum* for anti-diabetes. *Carbohydrate Polymers*. 2015;117: 106–114. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.09.051.
9. Cheng S, Sliva D. *Ganoderma lucidum* for cancer treatment; we are close but still not there. *Integration Cancer Ther*. 2015;14(3):249–257. DOI: 10.1177/1594735414568721.
10. Denisova NP. *Lechebnye svoystva gribov. Etnomikologicheskoye obozreniye* [The healing properties of mushrooms]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet; 1998. 264 p. Russian.
11. Bukhalo AS. *Vysshie sedobnye bazidiomitsety v chistoy culture* [Higher edible Basidiomycetes in a pure culture]. Kiev: Navukova dumka; 1988. 144 p. Russian.
12. Ermakov AI. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad: Gidrometizdat; 1987. 430 p. Russian.
13. Folch I, Lees M, Stanley GHS. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal Biological Chemistry*. 1957;226(1):497–509.
14. Goncharova IA, Shcherba VV, Babitskaya VG. Polysaccharides of the cell wall of basidiomycete *Coriolus hirsutus*. *Prikladnaya biorhimija i mikrobiologiya* [Applied biochemistry and microbiology]. 1996;32(4):434–437. Russian.
15. Tang YJ, Zhong JJ. Fed-batch fermentation of *Ganoderma lucidum* for hyperproduction of polysaccharide and ganoderic acid. *Enzyme and Microbial Technology*. 2002;31(1–2):20–28. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00066-2.
16. Zaprometov MN. *Fenolnye soedineniya rasteniy: biosintez, prevrashchenie, funktsii* [Phenolic compounds of plants: biosynthesis, transformation, function]. Moscow: Nauka; 1985. Russian.
17. Kapich AN. Antioxidant activity of mycelium extracts of xylophilic basidiomycetes. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 1995;29(5–6):35–40. Russian.
18. Kantukov SA, Krivokhizhina LV, Farkhutdinov RR. The state of processes of free radical oxidation in acute liver damage. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University]. 2011;39:107–112. Russian.
19. Weber LW, Boll M, Stampfl A. Hepatotoxicity and mechanism of action of haloalkanes: carbon tetrachloride as a toxicological model. *Critical Reviews in Toxicology*. 2003;33:105–136. DOI: 10.1080/713611034.
20. Myshkin VA. Experimental evaluation of pyrimidine derivatives in models of toxic liver damage: review. *Medical Sciences*. 2016;3:88–98. Russian.
21. Zavadnik IB. Inhibition of functional activity of rat liver mitochondria under acute intoxication by carbon tetrachloride. *Vesti Natsionalnaya akademii nauk Belarusi. Seriya biologichnykh nauk* [Proceeding of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences]. 2015;4:104–110. Russian.
22. Nersesova LS, Gazaryants MG, Mkrтчян ZS, et al. The effect of ionizing radiation on enzyme activity and the state of the nuclear-nucleolar apparatus of rat hepatocytes. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. [Rad. biology. Radioecology]. 2013;53(1):1–8. Russian.

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

MEDICAL ECOLOGY

УДК 57:[618.3:616-005.6]

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ АТФ И ДИАДЕНОЗИН ТЕТРАФОСФАТА НА АДФ-ИНДУЦИРОВАННУЮ АГРЕГАЦИЮ ТРОМБОЦИТОВ ПРИ ПРЕЭКЛАМПСИИ

А. В. БАКУНОВИЧ¹⁾, А. И. ЗИНЧЕНКО^{1,2)}, К. Я. БУЛАНОВА¹⁾

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

²⁾Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,
ул. Академика В. Ф. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь

В экспериментах *in vitro* установлено достоверное повышение степени агрегации тромбоцитов беременных женщин с преэклампсией в ответ на действие АДФ по сравнению с физиологически протекающей беременностью. Показано, что диаденозин-5',5'''-P¹,P⁴-тетрафосфат и АТФ-Mg²⁺ способны оказать ингибирующий эффект на АДФ-индуцированную агрегацию тромбоцитов при преэклампсии. Потенциальное преимущество использования Ar₄A

Образец цитирования:

Бакунович АВ, Зинченко АИ, Буланова КЯ. Особенности влияния АТФ и диаденозин тетрафосфата на АДФ-индуцированную агрегацию тромбоцитов при преэклампсии. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;4:71–79.

For citation:

Bakunovich AV, Zinchenka AI, Bulanava KYa. Features of the ATP and diadenosine tetraphosphate effect on ADP-induced platelet aggregation at pre-eclampsia. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;4:71–79. Russian.

Авторы:

Андрей Валерьевич Бакунович – старший преподаватель кафедры экологической химии и биохимии.

Анатолий Иванович Зинченко – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук, профессор; заведующий лабораторией молекулярной биотехнологии²⁾; профессор кафедры экологической химии и биохимии¹⁾.

Клавдия Яковлевна Буланова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры экологической химии и биохимии.

Author:

Andrei V. Bakunovich, senior lecturer at the department of ecological chemistry and biochemistry.

andy.bakunovich@gmail.com

Anatoly I. Zinchenka, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, doctor of science (biology), full professor; head of the laboratory of molecular biotechnology^{b)}; professor at the department of ecological chemistry and biochemistry^{a)}.

zinch@mbio.bas-net.by

Klavdiya Ya. Bulanava, PhD (biology), docent; associate professor at the department of ecological chemistry and biochemistry.

bulanova_home@tut.by

и его производных в качестве терапевтических средств заключается в том, что они являются более эффективными ингибиторами агрегации вследствие синергического действия на P2Y₁ и P2Y₁₂ рецепторы тромбоцитов и более длительного периода полураспада в кровяном русле по сравнению с АТФ. Ap₄A может быть рекомендован в качестве субстрата для разработки лекарственных средств, нацеленных на снижение повышенной функциональной активности тромбоцитов при преэклампсии.

Ключевые слова: преэклампсия; тромбоциты; агрегация; АДФ; АТФ; диаденозин тетрафосфат.

FEATURES OF THE ATP AND DIADENOSINE TETRAPHOSPHATE EFFECT ON ADP-INDUCED PLATELET AGGREGATION AT PRE-ECLAMPSIA

A. V. BAKUNOVICH^a, A. I. ZINCHENKO^{a, b}, K. YA. BULANOVA^a

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

^bInstitute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
2 Academician V. F. Kupreviča Street, Minsk 220141, Belarus

Corresponding author: A. V. Bakunovich (andy.bakunovich@gmail.com)

In vitro experiments established significant increase in the aggregation degree of pregnant women platelets with pre-eclampsia in response to the action of ADP, compared with a physiological pregnancy. Experiments revealed that diadenosine-5',5'''-P¹,P⁴-tetraphosphate and ATP-Mg²⁺ are able to exert an inhibitory effect on ADP-induced platelet aggregation during pre-eclampsia. The potential advantage of Ap₄A and its derivatives as therapeutic agents is that they have a synergistic inhibitory effect on the P2Y₁ and P2Y₁₂ platelet receptors and have a longer half-life in the bloodstream compared to ATP. The research results suggest using Ap₄A as a substrate for the development of drugs aimed at reducing the increased functional activity of platelets during pre-eclampsia.

Key words: pre-eclampsia; platelets; aggregation; ADP; ATP; diadenosine tetraphosphate.

Введение

Проблема преэклампсии у беременных женщин до настоящего времени остается актуальной, что обусловлено не только риском развития осложнений для матери и плода [1], но и высокой частотой их встречаемости. Известно, что загрязнение окружающей среды негативно влияет на течение беременности, увеличивает риск развития патологии, особенно в загрязненных радионуклидами районах и техногенно-загрязненным атмосферным воздухом. Антропогенная нагрузка влечет за собой ухудшение здоровья населения. Экологические факторы риска в крупных промышленных центрах провоцируют повышение заболеваемости беременных, увеличивая вероятность развития осложнений у рожениц и плода. Комплексная техногенная нагрузка складывается из суммарного загрязнения атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы и качества питания, что в совокупности приводит к угнетению компенсаторно-приспособительных возможностей женского организма к вынашиванию плода. Немаловажную роль играют и социально-экономические факторы, а также образ жизни беременных женщин. Все это приводит к развитию дезадаптации организма беременных, обусловленной преэклампсией.

Характерной особенностью для беременных женщин с преэклампсией умеренной и тяжелой степени является выраженная тромбоцитопения, сочетающаяся с анизоцитозом тромбоцитов и увеличением количества мегалотромбоцитов с повышенной функциональной активностью, в частности их адгезивно-агрегационной способностью [2].

Активация тромбоцитов, лимитирующая кровопотери организма, представляет собой один из жизненно-важных механизмов сохранения его функций. Однако ни сами тромбоциты, ни другие компоненты гемостаза не способны делать различий между травмами сосудов и другими причинами, приводящими к появлению в крови инициаторов агрегации. Ряд реакций гемостаза может инициироваться, например, в случаях дестабилизации стенок сосудов в результате их хронической дегенерации. Такие процессы могут осуществляться, в частности, в артериях при формировании атеросклеротических бляшек, ишемической болезни, гипертонии, токсикозах, возникающих также при беременности.

Цель исследования: изучить особенности АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов беременных женщин с преэклампсией, а также возможность применения солей АДФ и диаденозин-5',5'''-P¹,P⁴-тетрафосфата для коррекции повышенной тромбоцитарной активности.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служила кровь беременных женщин с физиологически протекающей беременностью, составивших контрольную группу (32 пациентки) и беременных с диагнозом преэклампсии (32 пациентки) умеренной степени. Пациенты добровольно подтвердили свое согласие на участие в научном исследовании после того, как они были надлежащим образом проинформированы о целях, методах, ожидаемой пользе и возможном риске исследования. Забор крови проводили в клинических условиях при обязательном контроле отсутствия в течение месяца приема препаратов, влияющих на агрегацию тромбоцитов. Кровь стабилизировали 3,8 % раствором цитрата натрия (9:1 по объему). Агрегацию тромбоцитов исследовали путем измерения светопропускания с применением компьютеризированного анализатора агрегации тромбоцитов AP2110 (ЗАО «СОЛАР»). Обогащенную тромбоцитами плазму (ОТП) крови беременных женщин выделяли при комнатной температуре. ОТП получали центрифугированием цитратной крови при 1000 об/мин в течение 10 мин. Бестромбоцитарную плазму (БТП) получали центрифугированием крови при 3000 об/мин в течение 15 мин. Количество тромбоцитов в ОТП доводили до $2 \cdot 10^8$ кл/мл разбавлением БТП. В качестве индуктора агрегации тромбоцитов использовали АДФ в концентрациях $2,44 \cdot 10^{-7}$ - $2,44 \cdot 10^{-5}$ М. В качестве дезагреганта – Ар₄А в концентрациях $2,44 \cdot 10^{-7}$ - $2,44 \cdot 10^{-6}$ М, а также динатриевую и магниевую соли аденозинтрифосфата (АТФ) в концентрации $7,32 \cdot 10^{-7}$ М.

Статистический анализ результатов проводился с помощью программы Statistica 10.0. Закон распределения экспериментальных данных оценивался по критерию Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения, достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента, а при непараметрическом распределении – U-теста Манна–Уитни. Сравнительный анализ эффективности дезагрегантов проводили с поправкой Тьюки (нормальное распределение) или критерия Краскела–Уоллиса (непараметрическое распределение). Различия рассматривались как статистически достоверные при уровне значимости $P < 0,05$. Результаты представлены в виде $M \pm SD$ для нормального распределения экспериментальных данных и $Me [P_{25}-P_{75}]$ для данных, не подчиняющихся закону нормального распределения.

Результаты исследования и их обсуждение

АДФ играет важную роль в гемостазе, процессе активации тромбоцитов и формировании тромба. Сам по себе АДФ является относительно слабым агонистом агрегации тромбоцитов, вызывающим обратимое изменение формы и слабую агрегацию, однако он является необходимым кофактором для нормальной активации кровяных пластинок такими более сильными агонистами, как тромбин, коллаген или тромбоксан А₂.

На рис. 1 представлены особенности реакции тромбоцитов женщин с физиологически протекающей беременностью и беременных женщин с преэклампсией на различные концентрации АДФ. На высокие концентрации аденозиндифосфата ($2,44 \cdot 10^{-5}$ М) тромбоциты женщин всех обследованных групп реагировали сходно-необратимой агрегацией. При снижении концентрации АДФ до $2,44 \cdot 10^{-6}$ М реакция тромбоцитов уменьшилась, не проявляя особых различий в ответах кровяных пластинок беременных женщин исследуемых групп. При дальнейшем снижении на порядок концентрации АДФ до $2,44 \cdot 10^{-7}$ М агрегация тромбоцитов проявлялась исключительно у беременных с преэклампсией. Так, степень и скорость агрегации при физиологической беременности находились в пределах $0,8 \pm 0,69$ % и $1,2 [0,35-2,2]$ %/мин; тогда как при преэклампсии – $5,46 \pm 1,72$ % и $6,35 [3,7-10,7]$ %/мин соответственно; $P < 0,05$. Имеющиеся статистически значимые различия в исследуемых группах согласовываются с данными авторов [3] и подтверждают возможность использования данного критерия для диагностики риска развития преэклампсии у беременных женщин.

Небольшое повышение концентрации аденозиндифосфата до $7,32 \cdot 10^{-7}$ М позволило вызвать агрегацию тромбоцитов как у женщин с физиологической беременностью, так и у беременных с преэклампсией. Имеющиеся статистические различия в степени и скорости агрегации между физиологической беременностью и патологией ($13,02 \pm 4,62$ % и $13,65 [9,7-18,6]$ %/мин; и $20,09 \pm 4,10$ % и $21,4 [15,4-26,6]$ %/мин, соответственно; $P < 0,05$), позволили проводить дальнейшие исследования влияния дезагрегантов при указанной концентрации инициатора агрегации – АДФ.

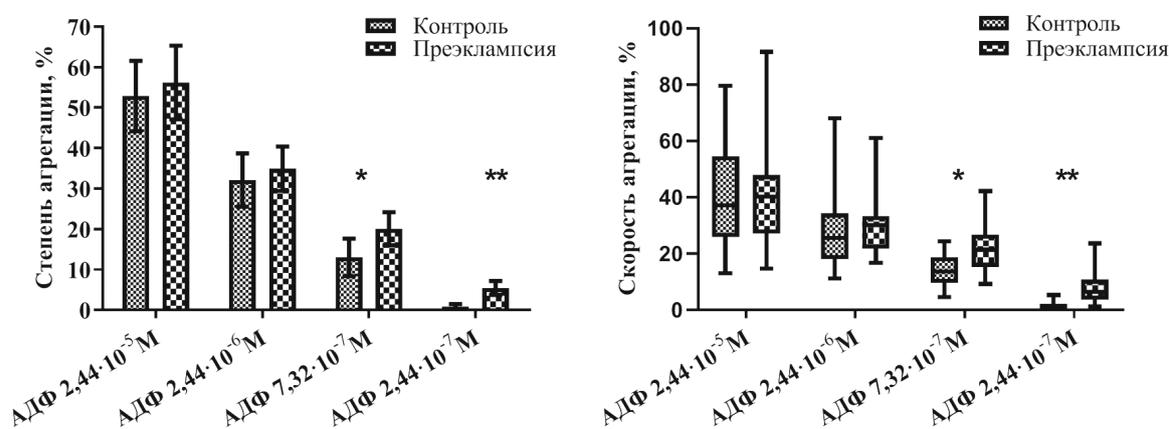


Рис. 1. Особенности реакции тромбоцитов женщин с физиологически протекающей беременностью и беременных с преэклампсией на разные концентрации АДФ *; ** – достоверные различия по сравнению с соответствующим контролем ($P < 0,05$)

Fig. 1. Features of the platelets reaction of women with physiological pregnancy and pregnant women with pre-eclampsia at different concentrations of ADP *; ** – significant differences compared with the corresponding control group ($P < 0.05$)

Механизм действия АДФ опосредован его взаимодействием с P2 пуринорецепторами на поверхности тромбоцитов. Так, связываясь с P2Y₁ рецепторами, АДФ активирует фосфолипазу С, инициируя изменение формы и агрегацию тромбоцитов за счет мобилизации внутриклеточных запасов ионов кальция [4; 5]. Взаимодействуя с P2Y₁₂ рецепторами, посредством G-белков, АДФ ингибирует аденилатциклазу, тем самым снижая уровень внутриклеточного цАМФ, вызывая изменения формы, секрецию гранул и агрегацию тромбоцитов, что имеет важное значение для полного ответа на АДФ-индуцированную агрегацию и стабилизацию агрегатов [4].

При преэклампсии гиперактивность тромбоцитов наблюдается с 16-ой недели беременности и нормализуется через 6 недель после родов. Причин для повышенной агрегации тромбоцитов при преэклампсии может быть несколько: снижение порога чувствительности для АДФ-стимулированной агрегации и увеличение секреции ионов кальция за счет нарушения функционирования Ca²⁺-транспортных систем, а также повышенной секрецией АТФ и АДФ из внутриклеточных депо [6]; уменьшение уровней цАМФ и цГМФ. Кроме того, преэклампсия сопряжена с высвобождением провоспалительных медиаторов из активированных тромбоцитов, что может вызвать воспалительные реакции в эндотелиальных клетках [7] и привести к эндотелиальной дисфункции.

Это осложнение беременности и родов, несмотря на современные успехи в профилактике, диагностике и лечении, является основной причиной смерти среди женщин репродуктивного возраста. Ограничения текущих способов терапии повышенной агрегационной способности тромбоцитов подчеркивают необходимость анализа различных путей активации этих клеток, выявления новых способов их коррекции, обеспечивающих целенаправленное вмешательство в процессы регуляции агрегации тромбоцитов. Перспективным соединением для этих целей может служить диаденозин-5',5'''-P¹,P⁴-тетрафосфат (Ar₄A), в норме содержащийся в плотных гранулах тромбоцитов [8]. Являясь молекулой, которая включена в процессы восстановления, коррекции и защиты как на клеточном, так и на организменном уровне, Ar₄A способен проявлять регуляторные функции на разных уровнях организации. В ответ на такие стрессовые влияния, как окисление и тепловой шок, диаденозин-5',5'''-P¹,P⁴-тетрафосфат выделяется из плотных гранул тромбоцитов, участвуя в реакции высвобождения. При физиологических условиях Ar₄A не секретируется в одиночку, а высвобождается вместе с другими моно- и динуклеотидами, главным образом АДФ и АТФ, которые секретируются в 20–40-кратном превышении над динуклеотидами [9]. Внеклеточный Ar₄A действует через пуринорецепторы и, возможно, через специфические рецепторные структуры. Представляет интерес провести анализ ингибиторных влияний Ar₄A, осуществляемых через P2 пуринорецепторы, на АДФ-иницированную агрегацию тромбоцитов женщин с физиологически протекающей беременностью и с преэклампсией.

В эксперименте выявлено, что дезагрегационные свойства Ar₄A носят доза-зависимый характер (рис. 2). Так, при добавлении Ar₄A в концентрации $2,44 \cdot 10^{-7} \text{ M}$ в суспензию тромбоцитов, активированных АДФ, отмечается незначительное ингибирование степени и скорости агрегации тромбоцитов до равных значений в обеих исследуемых группах.

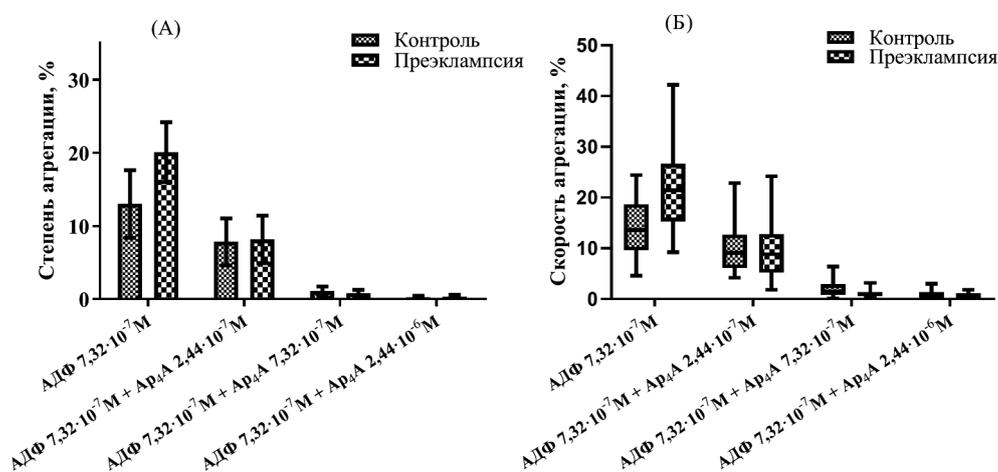


Рис. 2. Изменение степени и скорости АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов беременных женщин с физиологической беременностью и беременных с преэклампсией при добавлении в ОТП различных концентраций Ap_4A

Fig. 2. Changes in the degree and rate of ADP-induced platelet aggregation of pregnant women with physiological pregnancy and pregnant women with pre-eclampsia when different concentrations of Ap_4A are added to the platelet-rich plasma

Использование Ap_4A в концентрации $7,32 \cdot 10^{-7} M$ значительно снижало функциональную активность тромбоцитов, вызванную аденозиндифосфатом как у женщин с физиологически протекающей беременностью, так и у беременных женщин с преэклампсией. При этом показатели степени и скорости агрегации составили: при физиологической беременности – $1,10 \pm 0,64$ % и $2,01 \pm 1,55$ %/мин; при преэклампсии – $0,76 \pm 0,50$ % и $1,09 \pm 0,73$ %/мин соответственно. Наибольший ингибирующий эффект диаденозин-5',5'''- P^1, P^4 -тетрафосфата при АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов был достигнут при концентрации равной $2,44 \cdot 10^{-6} M$ (степень и скорость агрегации при физиологической беременности – $0,24 \pm 0,21$ % и $0,78 \pm 0,96$ %/мин; при преэклампсии – $0,33 \pm 0,26$ % и $0,64 \pm 0,45$ %/мин соответственно).

В настоящее время основной мишенью таких используемых антитромбоцитарных препаратов, как тиклопидин и клопидогрел, является $P2Y_{12}$ рецептор [10]. В свою очередь, антагонисты $P2Y_1$ рецепторов были разработаны и предложены в качестве антиагрегантов, но ни один не продвинулся к клиническим испытаниям. Потенциальное преимущество использования диаденозин-5',5'''- P^1, P^4 -тетрафосфата и его производных в качестве терапевтических дезагрегантов заключается в том, что, в отличие от выше перечисленных антагонистов $P2Y_{12}$ рецептора, они также оказывают синергическое ингибирующее действие на $P2Y_1$ рецепторы тромбоцитов [8]. Показатели IC_{50} для ингибирования каждого из этих рецепторов превышали значения IC_{50} для блокирования АДФ-стимулированной агрегации тромбоцитов, что свидетельствует о возможном синергическом эффекте ингибирования [11]. Так, воздействуя на $P2Y_1$ рецептор, Ap_4A блокирует активацию фосфолипазы C_2 , тем самым снижая мобилизацию внутриклеточных запасов ионов кальция. Кроме того, ингибирование этого рецептора нарушает работу ряда киназ (Rho/Rho, Lyn, MAPKs), которые посредством G-белков приводят к активации цГМФ-зависимой протеинкиназы (PKG), секреции α -гранул и синтезу тромбоксана A_2 [12].

Ингибирование $P2Y_{12}$ рецептора при помощи Ap_4A , дестабилизирует тромбоцитарные агрегаты, блокируя связывание тромбоцитов с фибриногеном и коллагеном, нарушая, таким образом, стабилизацию и формирование тромба. Кроме того, ингибирование $P2Y_{12}$ активирует аденилатциклазу, тем самым повышая уровень цАМФ в клетке и снижая ответ тромбоцитов на другие агрегирующие агенты. Антагонистические эффекты цАМФ и цГМФ по отношению к кальций-зависимым процессам опосредованы через цАМФ- и цГМФ-зависимые протеинкиназы (PKA и PKG), которые фосфорилируют кальций-высвобождающий инозитол-1,4,5-трифосфат рецептор I типа, ингибируя мобилизацию кальция [13].

Интересно отметить, что тромбоциты у пациентов с синдромом Чедиака–Хигаси (редкое заболевание, характеризующееся альбинизмом, восприимчивостью к инфекции и склонностью к кровотечениям, связанное с функциональным дефектом тромбоцитов) содержат на 99 % меньше Ap_4A по сравнению с нормой и на 53 % меньше АТФ [14]. Можно предположить, что при преэклампсии значимость и роль многочисленных функций Ap_4A снижена из-за его истощения во внутриклеточных депо тромбоцитов.

Анализ ингибирования АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов различными концентрациями Ap_4A позволяет выбрать условия для проведения сравнительного анализа антиагрегационных способностей данного динуклеотида с уже известными ингибиторами пуринорецепторов аналогичного

действия. Так, наиболее известным препаратом, воздействующим на P2 пуринорецепторы и часто используемым в медицине для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, является АТФ. Аденозинтрифосфат способен оказывать антиаритмическое, гипотензивное и противосудорожное действие, особенно в условиях эклампсии [15].

Известно, что при преэклампсии в крови беременных женщин снижается число тромбоцитов и количество депонируемого и секретируемого ими АТФ из-за потери плотных телец. В клинической практике для инъекций, как правило, используют препараты АТФ- Na_2 , однако стабильность данному нуклеотиду и его функциональную активность обеспечивают ионы Mg^{2+} , дефицитом которых сопровождается преэклампсия. Таким образом, в организме аденозинтрифосфат является биологическим реагентом, который проявляет свои основные метаболические и гемодинамические свойства в комплексе с магнием, поэтому в большинстве обменных реакций требуется не только АТФ как метаболический субстрат, но и магний как кофактор, препятствующий его разрушению путем ингибирования процессов дезаминирования и дефосфорилирования АТФ тканями.

При сравнительном анализе эффективности антиагрегационных свойств АТФ и Ar_4A при преэклампсии использовали его натриевую и магниевую соли (табл. 1, 2). В результате проведенных исследований выявлено, что во всех исследуемых группах наибольший ингибирующий эффект на агрегацию тромбоцитов проявляли диаденозин-5',5'''- P^1, P^4 -тетрафосфат и комплекс АТФ- Mg^{2+} . При этом их эффективность не отличается друг от друга при действии на тромбоциты женщин с физиологически протекающей беременностью и беременных женщин с преэклампсией. Комплекс АТР- Na_2 проявляет более слабые дезагрегационные свойства как в контрольной, так и в группе женщин с осложнением беременности (табл. 1).

Таблица 1

Изменение степени АДФ-индуцированной ($7,32 \cdot 10^{-7}\text{M}$) агрегации тромбоцитов беременных женщин при добавлении в ОТП динатриевой соли АТФ ($7,32 \cdot 10^{-7}\text{M}$), магниевой соли АТФ ($7,32 \cdot 10^{-7}\text{M}$) и Ar_4A ($7,32 \cdot 10^{-7}\text{M}$)

Table 1

Change in the degree of ADP-induced ($7.32 \cdot 10^{-7}\text{M}$) platelet aggregation of pregnant women when ATP disodium salt ($7.32 \cdot 10^{-7}\text{M}$), ATP magnesium salt ($7.32 \cdot 10^{-7}\text{M}$) and Ar_4A ($7.32 \cdot 10^{-7}\text{M}$) are added to the platelet-rich plasma

Состояние беременности	Дезагреганты	Степень агрегации ($\text{M} \pm \text{SD}$)	Уровень значимости (P) с поправкой Тьюки	
Физиологическая беременность	$\text{Ar}_4\text{A}^{(1)}$	1,10±0,65	P_{1-2}	$\text{P}=0,000106$
	АТФ- $\text{Na}_2^{(2)}$	2,26±0,96	P_{1-3}	$\text{P}=0,534643$
	АТФ- $\text{Mg}^{2+(3)}$	0,90±0,58	P_{2-3}	$\text{P}=0,000106$
Степень агрегации: $F=31,0289, P<0,05$				
Преэклампсия	$\text{Ar}_4\text{A}^{(1)}$	0,77±0,50	P_{1-2}	$\text{P}=0,000106$
	АТФ- $\text{Na}_2^{(2)}$	2,50±0,82	P_{1-3}	$\text{P}=0,886746$
	АТФ- $\text{Mg}^{2+(3)}$	0,84±0,57	P_{2-3}	$\text{P}=0,000106$
Степень агрегации: $F=74,964, P<0,05$				

Возможно, антиагрегационные эффекты АТФ- Na_2 на тромбоциты беременных женщин с преэклампсией менее выражены из-за дефицита иона Mg^{2+} в крови. Потребность беременной женщины в магнии нередко превышает его поступление, что позволяет рассматривать беременность как состояние физиологической гипомagneмии [16].

Дефицит этого иона сопряжен с широким спектром осложнений беременности, родов и патологии плода. По этой причине в медицинской практике для профилактики и лечения преэклампсии рекомендовано параллельно с АТФ- Na_2 использовать Mg^{2+}B_6 .

При проведении анализа изменения скорости АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов беременных женщин выявлено, что в группе женщин с физиологически протекающей беременностью и группе беременных с преэклампсией эффективность Ar_4A также не отличалась от АТР- Mg^{2+} (табл. 2). Однако следует отметить, что диаденозин-5',5'''- P^1, P^4 -тетрафосфат проявляет свои дезагрегационные способности в условиях дефицита ионов магния, характерного для преэклампсии.

Таблица 2

Изменение скорости АДФ-индуцированной ($7,32 \cdot 10^{-7}M$) агрегации тромбоцитов беременных женщин при добавлении в ОТП динатриевой соли АДФ ($7,32 \cdot 10^{-7}M$), магниевой соли АДФ ($7,32 \cdot 10^{-7}M$) и Ar_4A ($7,32 \cdot 10^{-7}M$)

Table 2

Change in the rate of ADP-induced ($7.32 \cdot 10^{-7}M$) platelet aggregation of pregnant women when ATP disodium salt ($7.32 \cdot 10^{-7}M$), ATP magnesium salt ($7.32 \cdot 10^{-7}M$) and Ar_4A ($7.32 \cdot 10^{-7}M$) are added to the platelet-rich plasma

Состояние беременности	Дезагреганты	Me [P25-P75]	H(P)	
Физиологическая беременность	$Ar_4A^{(1)}$	1,4 [0,85-2,9]	P_{1-2}	H=2,493, P=0,1143
	АДФ- $Na_2^{(2)}$	2,3 [0,95-4,05]	P_{1-3}	H=6,082, P=0,0137
	АДФ- $Mg^{2+(3)}$	0,9 [0,5-1,55]	P_{2-3}	H=14,517, P=0,0001
Тест Краскела–Уоллиса: $H=15,457, P<0,05$				
Преэклампсия	$Ar_4A^{(1)}$	0,95 [0,55-1,25]	P_{1-2}	H=24,198, P=0,0000
	АДФ- $Na_2^{(2)}$	3,6 [1,85-4,3]	P_{1-3}	H=3,208, P=0,0733
	АДФ- $Mg^{2+(3)}$	0,8 [0,3-0,95]	P_{2-3}	H=29,072, P=0,0000
Тест Краскела–Уоллиса: $H=37,456, P<0,05$				

Обнаруженная высокая физиологическая активность Ar_4A может быть обусловлена его полифункциональностью. Это соединение является специфическим ингибитором взаимодействия АДФ с пуриновыми рецепторами тромбоцитов, а также, возможно, действует на многие внутриклеточные системы через свои специфические P2D пуринорецепторы [17]. Существует ряд доказательств, предполагающих наличие уникальных рецепторов для динуклеотидов. Например, диаденозинтрифосфат и Ar_4A оказывают воздействие на сердце кролика, которое не изменяется при добавлении АДФ, АДФ, АМФ или аденозина [18], а также был описан [19] специфический рецептор для динуклеотидов в синапсоммах мозга крыс. Данный рецептор преимущественно стимулировался диаденозинполифосфатами (Ar_nA) и был нечувствителен к АДФ, УТФ, аденозину и их аналогам.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о возможности использования для коррекции повышенной агрегационной способности тромбоцитов при преэклампсии магниевых солей АДФ, однако следует учесть, что длительность эффекта соединений АДФ ограничена высокими скоростями дезаминирования и дефосфорилирования. Таким образом, при проектировании будущих лекарственных средств необходимо учитывать, что физиологические эффекты пуринергической сигнальной системы зависят не только от химической структуры или количества нуклеотидов, поступивших во внеклеточное пространство, но и от их соотношения с продуктами деградации, в образовании которых принимает участие ряд ферментов. К ним следует отнести эктонуклеотидазы, среди которых различают как растворимые, так и экспрессированные на поверхности клеток формы. Так, по данным авторов [20], активность экто-АДФазы и экто-АДФазы в 10 раз выше, чем активность гидролазы Ar_4A . Гематологические исследования показали, что способ, с помощью которого Ar_4A расщепляется гидролазой, асимметричен. При этом образуется АДФ и АМФ. АДФ и АТФ способны влиять на скорость гидролиза Ar_4A в крови путем конкурентного ингибирования Ar_nA -гидролаз. При этом в присутствии АДФ скорость разложения Ar_4A резко уменьшается. Таким образом, в естественных условиях после секреции Ar_4A из тромбоцитов он оказывается защищенным от деградации окружающими его нуклеотидами, поэтому способен действовать в качестве сигнальной молекулы в отдаленных местах. Вместе с другими эктоэнзимами, которые гидролизуют нуклеотиды, гидролазы Ar_4A нуждается в ионах двухвалентных металлов для максимальной каталитической активности [20]. В качестве этих ионов могут выступать Mg^{2+} и Mn^{2+} . Так, максимальная активность эктогидролазы достигается при миллимолярных концентрациях ионов Mg^{2+} , тогда как при более высоких концентрациях (10 мкМ, а также при 200 мкМ) гидролиз Ar_4A резко тормозится [20]. Восполнение дефицита Mg^{2+} при преэклампсии позволяет продлевать также период эффективного влияния Ar_4A в качестве лекарственного средства.

Заключение

У беременных женщин с преэклампсией установлено достоверное повышение степени агрегации в ответ на действие АДФ по сравнению с физиологически протекающей беременностью. Увеличение степени агрегации, возможно, связано с нарушением баланса выделяемых в ходе реакции высвобождения биологически активных веществ, регулирующих агрегацию и дезагрегацию тромбоцитов (АТФ, Ar_4A , Ca^{2+} и др.). Риском развития преэклампсии являются наследственные, экологические, социально-экономические факторы и психологический статус беременных. Заболевания и осложнения техногенного происхождения выявляются не сразу, а имеют длительный латентный период, нередко переходящий в хроническую форму. Антропогенное воздействие влечет изменение резистентности организма и постепенное проявление патологии, однако в связи с перестройкой организма беременных к вынашиванию плода, данный процесс может значительно усиливаться. Расширенный мониторинг, влияние указанных факторов и раннее выявление повышенной агрегационной способности тромбоцитов у беременных с преэклампсией может в значительной мере способствовать своевременной диагностике, профилактике и терапии данного осложнения беременности.

В результате исследования влияния Ar_4A на функциональные свойства тромбоцитов доказано, что данный динуклеотид обладает способностью снижать АДФ-индуцированную агрегацию тромбоцитов до уровня, не выходящего за пределы нормы. Результаты исследований позволяют рекомендовать использование Ar_4A в качестве основы для получения лекарственного средства, предназначенного для снижения повышенной агрегационной способности тромбоцитов при ряде заболеваний, включая преэклампсию. Применение Ar_4A в качестве лекарственного средства позволит обеспечить более совершенный способ профилактики и лечения тромботических состояний, поскольку этот динуклеотид является аналогом природного компонента плотных телец тромбоцитов человека, не вызывающих отрицательных побочных эффектов на систему крови.

Библиографические ссылки

1. Felfernig-Boehm D, Salat A, Vogl SE, Murabito M, Felfernig M, Schmidt D, Mittlboeck M, Husslein P, Mueller MR. Early detection of preeclampsia by determination of platelet aggregability. *Thrombosis Research*. 2000;98(2):139–146. DOI: 10.1016/s0049-3848(99)00224-8.
2. Onisai M, Vladareanu A.-M, Bumbea H, Ciorascu M, Pop C, Andrei C, Nicolescu A, Voican I, Vasilescu S, Visan L, Adrian II, Horhoianu V, Marinescu B, Vladareanu R. A study of the hematological picture and of platelet function in preeclampsia-report of a series of cases. *Maedica-Journal of Clinical Medicine*. 2009;4(4):326–337.
3. Сидоренко ВН. Тромбоцитарно-эндотелиальные механизмы в патогенезе, ранней диагностике, профилактике и лечении поздних гестозов [диссертация]. Минск: [б. н.]; 2005. 259 с.
4. Gachet C. ADP receptors of platelets and their inhibition. *Thrombosis and Haemostasis*. 2001;86(1):222–232.
5. Kolen KV, Slegers H. Integration of P2Y receptor-activated signal transduction pathways in G protein-dependent signalling networks. *Purinergic Signaling*. 2006;2(3):451–469. DOI: 10.1007/s11302-006-9008-0.
6. Babic G, Novokmet S, Jankovic S. Changes of platelets' function in preeclampsia. *General European Journal of Medicine*. 2011;6(6):696–700. DOI: 10.2478/s11536-011-0076-3.
7. Kazmi RS, Cooper AJ, Lwaleed BA. Platelet function in pre-eclampsia. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*. 2011;37(2):131–136. DOI: 10.1055/s-0030-1270339.
8. Chang H, Yanachkov IB, Michelson AD, Li Y, Barnard MR, Wright GE, Frelinger AL. Agonist and Antagonist Effects of Diadenosine Tetraphosphate, a Platelet Dense Granule Constituent, on Platelet P2Y1, P2Y12 and P2X1 Receptors. *Thrombosis Research*. 2010;125(2):159–165. DOI: 10.1016/j.thromres.2009.11.006.
9. Lüthje J, Miller D, Ogilvie A. Unproportionally high concentrations of diadenosine triphosphate (Ap_3A) and diadenosine tetraphosphate (Ap_4A) in heavy platelets. *Consequences for in vitro studies with human platelets. Blut*. 1987;54(4):193–200. DOI: 10.1007/bf00594193.
10. Winchester DE, Wen X, Brearley WD, Park KE, Anderson RD, Bavry AA. Efficacy and safety of glycoprotein IIb/IIIa inhibitors during elective coronary revascularization: a meta-analysis of randomized trials performed in the era of stents and thienopyridines. *Journal of the American College Cardiology*. 2011;57(10):1190–1199. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.10.030.
11. Chang H, Yanachkov IB, Dix EJ, Li, YF, Barnard MR, Wright GE, Michelson AD, Frelinger AL. Modified diadenosine tetraphosphates with dual specificity for P2Y1 and P2Y12 are potent antagonists of ADP-induced platelet activation. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*. 2012;10(12):2573–2580. DOI: 10.1111/jth.12035.
12. Brass LF, Stalker TJ. Mechanisms of platelet activation. In: *Platelets Hematology Cardiovascular Disorders*. Cambridge: University Press; 2008. p. 37–52.
13. Schwarz UR, Walter U, Eigenthaler M. Taming platelets with cyclic nucleotides. *Biochemical Pharmacology*. 2001;62(9):1153–1161. DOI: 10.1016/s0006-2952(01)00760-2.
14. Kim BK, Chao FC, Leavitt R, Fauci AS, Meyers KM, Zamecnik PC. Diadenosine 5',5'''-P1,P4-tetraphosphate deficiency in blood platelets of the Chédiak-Higashi syndrome. *Blood*. 1985;66(3):735–737.
15. Podrasky E, Xu D, Liang BT. A novel phospholipase C- and cAMP-independent positive inotropic mechanism via a P2 purinoceptor. *The American Journal Physiology*. 1997; 273(5). Part 2:H2380–2387. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.273.5.H2380.
16. Semczuk M, Semczuk-Sikora A. New data on toxic metal intoxication (Cd, Pb, and Hg in particular) and Mg status during pregnancy. *Medical Science Monitor. International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2001;7(2):332–340.

17. Miras-Portugal MT, Castro E, Mateo J, Pintor J. The diadenosine polyphosphate receptors: P2D purinoceptors. *Ciba Foundation Symposium*. 1996;198:35–47. DOI: 10.1002/9780470514900.ch2.
18. Pohl U, Ogilvie A., Lamontagne D, Busse R. Potent effects of AP3A and AP4A on coronary resistance and autacoid release of intact rabbit hearts. *The American Journal of Physiology*. 1991;260(5):H1692–H1697. DOI: 10.1152/ajpheart.1991.260.5.H1692.
19. Pintor J, Miras-Portugal MT. P2 purinergic receptors for diadenosine polyphosphates in the nervous system. *General Pharmacology*. 1995;26(2):229–235. DOI: 10.1016/0306-3623(94)00182-m.
20. Ogilvie A, Lüthje J, Pohl U, Busse R. Identification and partial characterization of an adenosine(5')tetraphospho(5')adenosine hydrolase on intact bovine aortic endothelial cells. *Biochemical Journal*. 1989;259(1):97–103. DOI: 10.1042/bj2590097.

References

1. Felfernig-Boehm D, Salat A, Vogl SE, Murabito M, Felfernig M, Schmidt D, Mittlboeck M, Husslein P, Mueller MR. Early detection of preeclampsia by determination of platelet aggregability. *Thrombosis Research*. 2000;98(2):139–146. DOI: 10.1016/s0049-3848(99)00224-8.
2. Onisai M, Vladareanu A.-M, Bumbea H, Ciorascu M, Pop C, Andrei C, Nicolescu A, Voican I, Vasilescu S, Visan L, Adrian II, Horhoianu V, Marinescu B, Vladareanu R. A study of the hematological picture and of platelet function in preeclampsia-report of a series of cases. *Maedica-Journal of Clinical Medicine*. 2009;4(4):326–337.
3. Sidorenko VN. *Trombotsitarno-endothelialnye mekhanizmy v patogeneze, ranney diagnostike, profilaktike i lechenii pozdnykh gestozov* [Platelet-endothelial mechanisms in pathogenesis, early diagnosis, prevention and treatment of late gestosis] [dissertation]. Minsk: [publisher unknown]; 2005. 259 p. Russian.
4. Gachet C. ADP receptors of platelets and their inhibition. *Thrombosis and Haemostasis*. 2001;86(1):222–232.
5. Kolen KV, Slegers H. Integration of P2Y receptor-activated signal transduction pathways in G protein-dependent signalling networks. *Purinergic Signaling*. 2006;2(3):451–469. DOI: 10.1007/s11302-006-9008-0.
6. Babic G, Novokmet S, Jankovic S. Changes of platelets' function in preeclampsia. *General European Journal of Medicine*. 2011;6(6):696–700. DOI: 10.2478/s11536-011-0076-3.
7. Kazmi RS, Cooper AJ, Lwaleed BA. Platelet function in pre-eclampsia. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*. 2011;37(2):131–136. DOI: 10.1055/s-0030-1270339.
8. Chang H, Yanachkov IB, Michelson AD, Li Y, Barnard MR, Wright GE, Frelinger AL. Agonist and Antagonist Effects of Diadenosine Tetraphosphate, a Platelet Dense Granule Constituent, on Platelet P2Y1, P2Y12 and P2X1 Receptors. *Thrombosis Research*. 2010;125(2):159–165. DOI: 10.1016/j.thromres.2009.11.006.
9. Lüthje J, Miller D, Ogilvie A. Unproportionally high concentrations of diadenosine triphosphate (Ap3A) and diadenosine tetraphosphate (Ap4A) in heavy platelets. *Consequences for in vitro studies with human platelets. Blut*. 1987;54(4):193–200. DOI: 10.1007/bf00594193.
10. Winchester DE, Wen X, Brearley WD, Park KE, Anderson RD, Bavry AA. Efficacy and safety of glycoprotein IIb/IIIa inhibitors during elective coronary revascularization: a meta-analysis of randomized trials performed in the era of stents and thienopyridines. *Journal of the American College Cardiology*. 2011;57(10):1190–1199. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.10.030.
11. Chang H, Yanachkov IB, Dix EJ, Li, YF, Barnard MR, Wright GE, Michelson AD, Frelinger AL. Modified diadenosine tetraphosphates with dual specificity for P2Y1 and P2Y12 are potent antagonists of ADP-induced platelet activation. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*. 2012;10(12):2573–2580. DOI: 10.1111/jth.12035.
12. Brass LF, Stalker TJ. Mechanisms of platelet activation. In: *Platelets Hematology Cardiovascular Disorders*. Cambridge: University Press; 2008. p. 37–52.
13. Schwarz UR, Walter U, Eigenthaler M. Taming platelets with cyclic nucleotides. *Biochemical Pharmacology*. 2001;62(9):1153–1161. DOI: 10.1016/s0006-2952(01)00760-2.
14. Kim BK, Chao FC, Leavitt R, Fauci, AS, Meyers KM, Zamecnik PC. Diadenosine 5',5'''-P1,P4-tetraphosphate deficiency in blood platelets of the Chédiak-Higashi syndrome. *Blood*. 1985;66(3):735–737.
15. Podrasky E, Xu D, Liang BT. A novel phospholipase C- and cAMP-independent positive inotropic mechanism via a P2 purinoceptor. *The American Journal of Physiology*. 1997; 273(5). Part 2:H2380–2387. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.273.5.H2380.
16. Semczuk M, Semczuk-Sikora A. New data on toxic metal intoxication (Cd, Pb, and Hg in particular) and Mg status during pregnancy. *Medical Science Monitor. International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2001;7(2):332–340.
17. Miras-Portugal MT, Castro E, Mateo J, Pintor J. The diadenosine polyphosphate receptors: P2D purinoceptors. *Ciba Foundation Symposium*. 1996;198:35–47. DOI: 10.1002/9780470514900.ch2.
18. Pohl U, Ogilvie A., Lamontagne D, Busse R. Potent effects of AP3A and AP4A on coronary resistance and autacoid release of intact rabbit hearts. *The American Journal of Physiology*. 1991;260(5):H1692–H1697. DOI: 10.1152/ajpheart.1991.260.5.H1692.
19. Pintor J, Miras-Portugal MT. P2 purinergic receptors for diadenosine polyphosphates in the nervous system. *General Pharmacology*. 1995;26(2):229–235. DOI: 10.1016/0306-3623(94)00182-m.
20. Ogilvie A, Lüthje J, Pohl U, Busse R. Identification and partial characterization of an adenosine(5')tetraphospho(5')adenosine hydrolase on intact bovine aortic endothelial cells. *Biochemical Journal*. 1989;259(1):97–103. DOI: 10.1042/bj2590097.

Статья поступила в редакцию 01.11.2019.
Received by editorial board 01.11.2019.

УДК 614.1:338.001.36

ПОСЛЕДСТВИЯ АЛКОГОЛИЗМА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Н. Е. ПОРАДА¹⁾, Е. П. ЖИВИЦКАЯ¹⁾, Е. Н. ВАСЮКЕВИЧ¹⁾

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

Анализируется динамика показателей заболеваемости и смертности населения Республики Беларусь от алкоголизма за 1995–2016 гг. Рассмотрены показатели смертности от отравления алкоголем как фактора внешнего воздействия, определены взаимосвязи между показателями заболеваемости и смертности с уровнем потребления алкоголя и отдельными социально-экономическими параметрами. Установлена тенденция к снижению показателей смертности населения от алкоголизма и отравлений алкоголем. Смертность мужского населения от алкоголя в 3,6 раза выше смертности женщин, смертность сельского населения в 2–3 раза выше, чем городского. Выявлена сильная корреляционная связь между заболеваемостью алкоголизмом и правонарушениями в состоянии алкогольного опьянения, дорожно-транспортными происшествиями, смертностью от внешних причин, между потреблением алкоголя на душу населения и числом разводов, численностью занятого населения.

Ключевые слова: заболеваемость; смертность; хронический алкоголизм; алкогольный психоз; употребление алкоголя; отравления алкоголем; корреляционная связь.

THE CONSEQUENCES OF ALCOHOLISM CAUSED BY SOCIO-ECONOMIC FACTORS

N. E. PORADA^a, E. P. ZHYVITSKAYA^a, E. N. VASYUKEVICH^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute,
Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: E. P. Zhyvitskaya (zhyvitskayaep@bsu.by)

The paper presents an analysis of the dynamics of incidence and mortality of the population of the Republic of Belarus from alcoholism for the period 1995–2016, considers mortality rates from alcohol intoxication as a factor of external influence, describes the relationship between incidence and mortality with the level of alcohol consumption and individual socio-economic parameters. The tendency to decrease of mortality rates of the population from alcoholism and poisoning by alcohol is established. The mortality of the male population from alcohol is 3.6 times higher than the

Образец цитирования:

Порада Н.Е., Живицкая Е.П., Васюкевич Е.Н. Последствия алкоголизма, обусловленные социально-экономическими факторами. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:80–90.

For citation:

Porada NE, Zhyvitskaya EP, Vasyukevich EN. The consequences of alcoholism caused by socio-economic factors. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:80–90. Russian.

Авторы:

Наталья Евгеньевна Порада – кандидат медицинских наук, доцент; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Елена Петровна Живицкая – старший преподаватель кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Елена Николаевна Васюкевич – студент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Authors:

Natalia E. Porada, PhD (medicine), docent; associate professor at the department of environmental medicine and radiobiology. poradanataliya@mail.ru

Elena P. Zhyvitskaya, senior lecturer at the department of environmental medicine and radiobiology. zhyvitskayaep@bsu.by

Elena N. Vasyukevich, student at the department of environmental medicine and radiobiology.

mortality of women, the mortality of the rural population is 2–3 times higher than the urban one. A strong correlation between the incidence of alcoholism and offenses in a state of intoxication, road traffic accidents, mortality from external causes, between alcohol consumption per capita and the number of divorces, the number of employed population was revealed.

Key words: incidence; mortality; chronic alcoholism; alcoholic psychosis; alcohol consumption; alcohol poisoning; correlation.

Введение

Проблемы, связанные с чрезмерным потреблением алкоголя, необходимо решать на уровне здравоохранения в частности и государства в целом. Уровень потребления алкогольных напитков населением Республики Беларусь продолжает оставаться высоким. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, потребление алкогольных напитков в абсолютном алкоголе на душу населения увеличилось с 6,7 л в 1995 г. до 12,2 – в 2012 г. В 2015–2016 гг. показатель снизился до 8,2 л [1]. Однако алкоголизм и злоупотребление спиртными напитками по уровню распространенности, величине экономических и демографических потерь, нравственной стороне вопроса представляют серьезную угрозу здоровью [2; 3] и благополучию общества. Учитывая, что основная доля потребляемой алкогольной продукции приходится на взрослое население, представляют интерес некоторые параметры, характеризующие уровень употребления алкогольных напитков среди данного контингента. По данным статистики, только 23,5 % населения в возрасте 16 лет и старше не употребляют алкоголь, среди мужчин – 17,5 %, среди женщин – 28,4 %. Женщины чаще употребляют слабоалкогольные напитки (60,2 %) и в большинстве своем потому, что по традиции принято отмечать праздник со спиртными (91,1 %). Мужчины предпочитают пиво и крепкие спиртные напитки – 49,0 и 66,8 % от общей численности соответствующей группы [4]. Известно, что среди лиц, имеющих пристрастие к крепким спиртным напиткам, чаще наблюдается формирование более тяжелой алкогольной зависимости, соматических нарушений и психопатологических расстройств, у них большая выраженность социально-правовых проблем [5]. Следовательно, мужчины из-за большей кратности употребления и вследствие предпочтения крепких спиртных напитков относятся к группе риска по развитию алкогольной зависимости. Это также является одним из факторов, формирующих высокий уровень смертности от отравлений алкоголем среди мужского населения. К мотивам употребления алкогольных напитков относят выпивку для снятия напряжения и повышения настроения (13,1 % мужчин и 3,1 % женщин) [4]. Этот факт свидетельствует о состоянии психоэмоционального напряжения, которое может являться индикатором психосоциального неблагополучия вследствие различных семейно-бытовых, материальных и других проблем. Индикаторами, отражающими уровень алкогольных проблем в государстве, являются показатели заболеваемости и смертности населения от алкоголизма и алкогольных психозов, острых алкогольных отравлений.

Цель исследования – провести анализ взаимосвязи между заболеваемостью и смертностью населения Республики Беларусь от алкоголизма и социально-экономическими факторами.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследования использовались данные о заболеваемости и смертности от хронического алкоголизма и алкогольных психозов, отравления алкоголем в Республике Беларусь, взятые из официальных статистических документов [6]. Применялись методы корреляционного и регрессионного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ взаимосвязи между заболеваемостью населения Республики Беларусь алкоголизмом и социально-экономическими факторами показал, что с 1995 по 2006 г. отмечался ежегодный рост числа пациентов с впервые установленным диагнозом алкоголизма и алкогольного психоза. Тогда число впервые выявленных случаев алкоголизма составило 32 550. С 2007 г. наблюдалось снижение числа пациентов в 1,7 раза, однако уровень на конец изучаемого периода остается выше (13 521 – в 1995 г., 19 346 – в 2016 г.), чем в начале изучаемого периода (рис. 1).

Ретроспективный анализ относительных показателей заболеваемости населения алкоголизмом свидетельствует, что в период с 1995 по 2006 г. первичная заболеваемость в связи с употреблением алкоголя характеризуется выраженным ростом ($R^2 = 0,97$) с 131,5 до 334,4 ‰_{0000} или в 2,5 раза (среднегодовой темп прироста составил 7,91 %). С 2007 по 2016 г. наблюдается устойчивое снижение ($R^2 = 0,95$) с 334,4 до 195,6 ‰_{0000} или в 1,7 раза (рис. 2). Среднегодовой показатель первичной заболеваемости (A_0) за весь период наблюдения составил 245,34 ‰_{0000} .

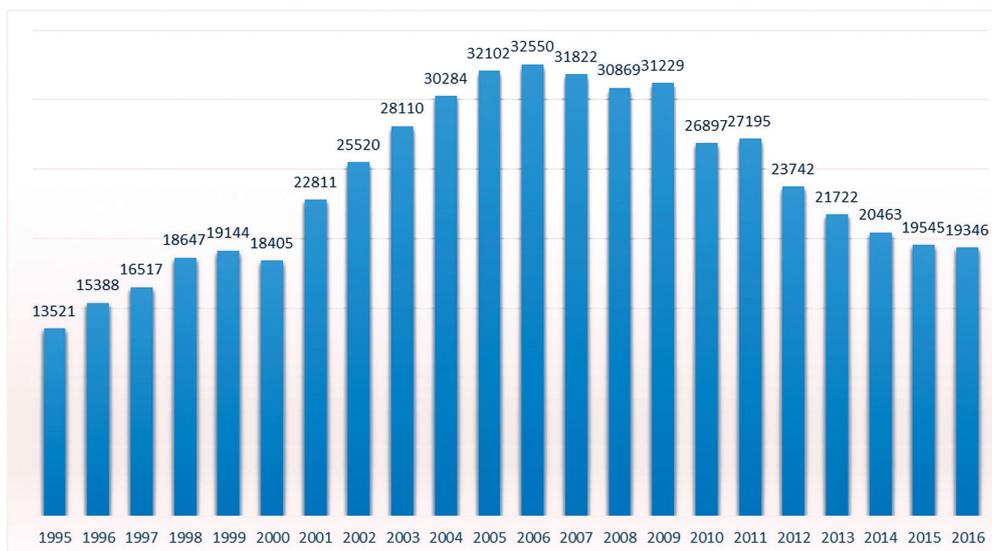


Рис. 1. Динамика числа пациентов с впервые в жизни установленным диагнозом алкоголизма и алкогольного психоза в Республике Беларусь

Fig. 1. Dynamics of the number of patients with the first-ever established diagnosis of alcoholism and alcohol psychosis in the Republic of Belarus

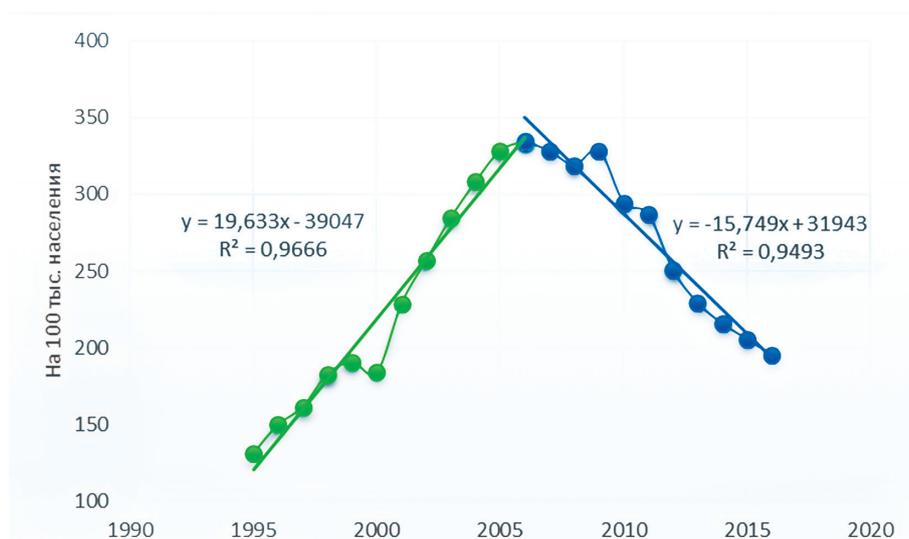


Рис. 2. Многолетняя динамика заболеваемости населения Республики Беларусь алкоголизмом

Fig. 2. The long-term dynamics of the alcoholism incidence of population of the Republic of Belarus

Анализ многолетней динамики заболеваемости населения алкогольными психозами показал выраженное снижение его уровня на 63,1% ($R^2 = 0,78$) (рис. 3). Среднегодовой темп снижения – 5,69 %. Среднегодовой показатель первичной заболеваемости алкогольными психозами (A_0) составил $22,15 \text{ } \frac{0}{0000}$.

В подавляющем большинстве случаев (70%) алкоголизмом страдают мужчины. (рис. 4).

Анализ взаимосвязи алкогольного фактора и показателей социального и экономического характера проводили методом ранговой корреляции Спирмена. Был рассчитан коэффициент корреляции между числом разводов, численностью занятого населения, доходами населения, правонарушениями и дорожно-транспортными происшествиями (ДТП), совершенными в состоянии алкогольного опьянения, с одной стороны, а также заболеваемостью алкоголизмом и потреблением алкоголя на душу населения – с другой. При использовании коэффициента ранговой корреляции условно оценивали связи между признаками, считая значения коэффициента, равные 0,3 и менее, показателями слабой тесноты связи; значения более 0,4, но менее 0,7 – показателями умеренной тесноты связи, а значения 0,7 и более – показателями высокой тесноты связи. Результаты анализа представлены в табл. 1.

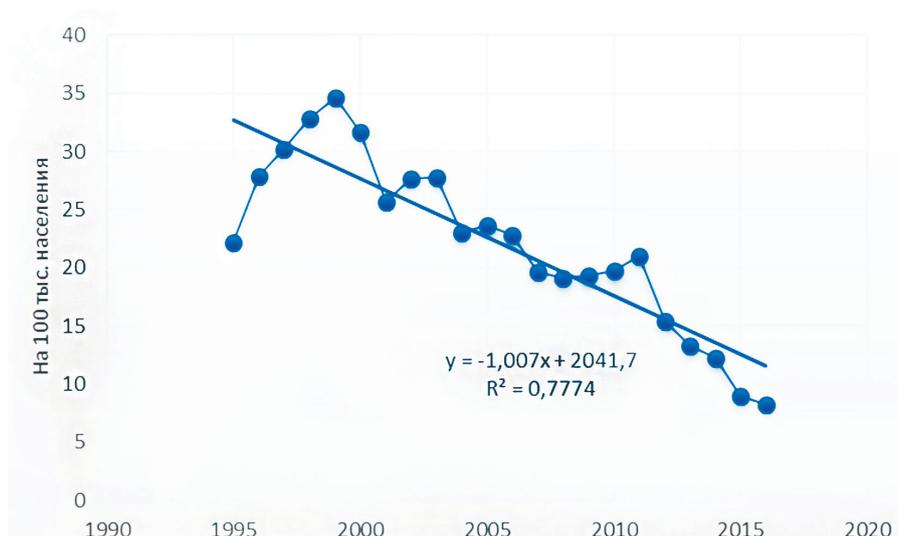


Рис. 3. Многолетняя динамика заболеваемости населения Республики Беларусь алкогольными психозами

Fig. 3. The long-term dynamics of alcohol psychosis incidence of the Republic of Belarus



Рис. 4. Структура заболеваемости алкоголизмом населения Республики Беларусь по полу

Fig. 4. Structure of the incidence of alcoholism of the population of the Republic of Belarus by sex

Таблица 1

Корреляционный анализ взаимосвязи заболеваемости алкоголизмом и потребления алкоголя на душу населения и некоторых показателей социально-экономического характера

Table 1

Correlation analysis of the relationship between the incidence of alcoholism and alcohol consumption per capita and some indicators of socio-economic nature

Социальные и экономические показатели	Заболеваемость алкоголизмом	Потребление алкоголя на душу населения
Число разводов	- 0,08	0,9*
Численность занятого населения	0,13	0,82*
Доходы населения	0,3	0,15
Правонарушения в состоянии алкогольного опьянения	0,95*	0,71*
ДТП в состоянии алкогольного опьянения	0,8*	0,65**

Примечание: *высокая теснота связи, ** умеренная теснота связи

Рассчитанный коэффициент корреляции показал *сильную связь* между:

– заболеваемостью алкоголизмом и правонарушениями в состоянии алкогольного опьянения (коэффициент корреляции 0,95);

– заболеваемостью алкоголизмом и дорожно-транспортными происшествиями, совершенными в состоянии алкогольного опьянения (коэффициент корреляции 0,8);

умеренную связь (коэффициент корреляции 0,71 и 0,65 соответственно) правонарушений и дорожно-транспортных происшествий в состоянии алкогольного опьянения с потреблением алкоголя на душу населения (табл. 1; рис. 5, 6).



Рис. 5. Динамика правонарушений, совершенных в состоянии алкогольного опьянения, и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 5. Dynamics of offenses committed in a state of intoxication and alcohol consumption per capita

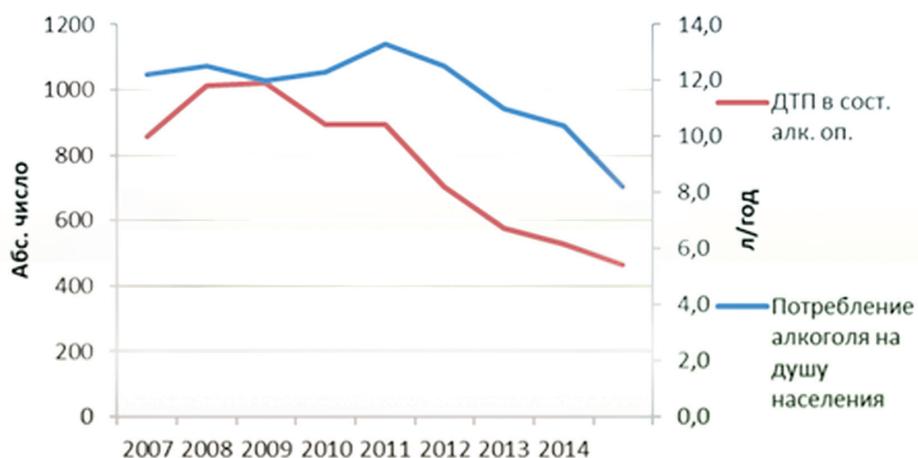


Рис. 6. Динамика ДТП, совершенных в состоянии алкогольного опьянения, и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 6. The dynamics of road accidents committed in a state of intoxication and alcohol consumption per capita

С потреблением алкоголя на душу населения более тесно связаны (коэффициент корреляции 0,9 и 0,82 соответственно) такие социально значимые показатели, как число разводов и численность занятого населения (табл. 1; рис. 7, 8).

Не выявлена корреляционная связь между:

– заболеваемостью алкоголизмом и числом разводов (коэффициент корреляции – 0,08);

– заболеваемостью алкоголизмом и численностью занятого населения (коэффициент корреляции 0,13) (табл. 1).

Слабая взаимосвязь (коэффициент корреляции равен 0,15) просматривается для пары «потребление алкоголя – доходы населения» (табл. 1; рис. 9).

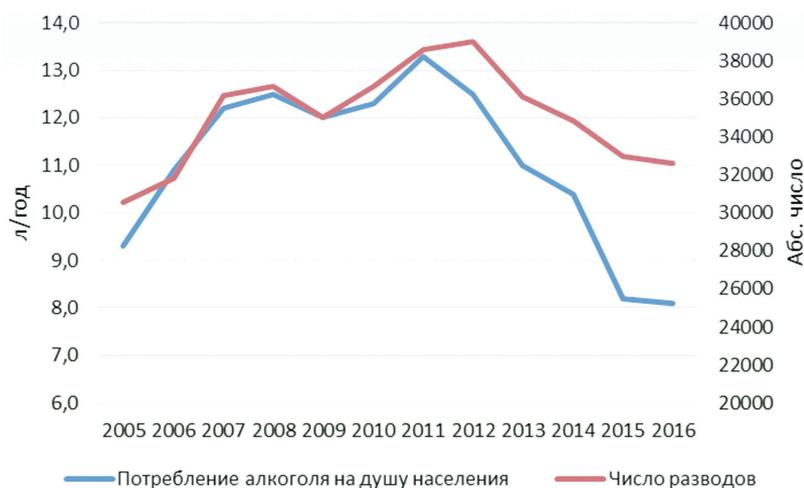


Рис. 7. Динамика числа разводов и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 7. Dynamics of divorces and alcohol consumption per capita

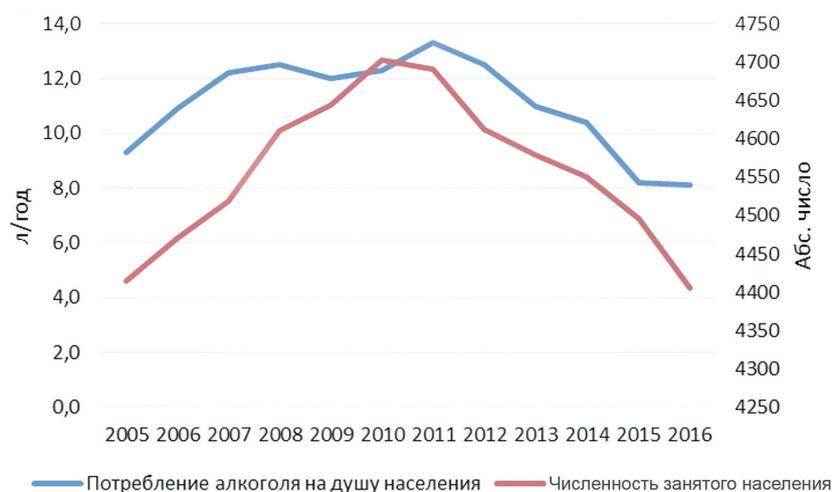


Рис. 8. Динамика численности занятого населения и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 8. Dynamics employed population and alcohol consumption per capita



Рис. 9. Динамика доходов населения и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 9. Dynamics of population income and alcohol consumption per capita

Показателем, отражающим эпидемиологические закономерности заболеваемости, является смертность населения. Это самое тяжелое последствие потребления алкоголя и наиболее интегральный показатель тяжести алкогольных проблем, которые определяются многими факторами, включая уровень потребления спиртных напитков [3].

В работе отмечена взаимосвязь между смертностью населения Республики Беларусь от алкоголизма и социально-экономическими факторами. Нами проведен ретроспективный анализ смертности населения Республики Беларусь от алкоголизма с 2005 по 2016 г. Среднегодовой показатель смертности населения от алкоголизма за изучаемый период составил $5,05 \pm 0,8 \text{‰}$. В динамике смертности по причине алкоголизма отмечено снижение показателя в 2016 г. на 25 % по сравнению с 2005 г. (рис. 10).

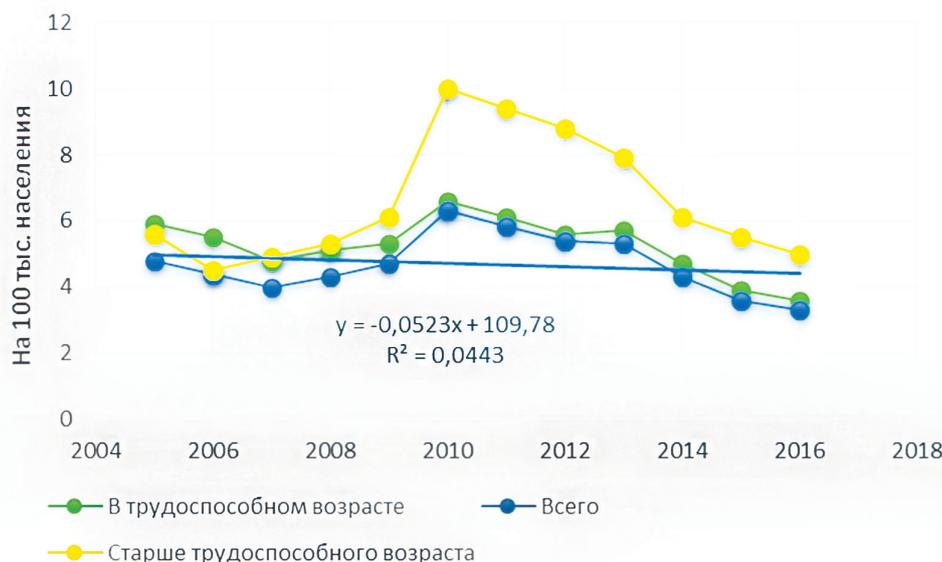


Рис. 10. Динамика смертности населения в Республике Беларусь от алкоголизма

Fig. 10. Dynamics of mortality from alcoholism in the Republic of Belarus

Смертность мужчин от алкоголя в 3,6 раза выше смертности женщин от данной причины (рис. 11). Наиболее высокие показатели смертности трудоспособного населения связаны с алкоголем и самоубийствами (рис. 12).

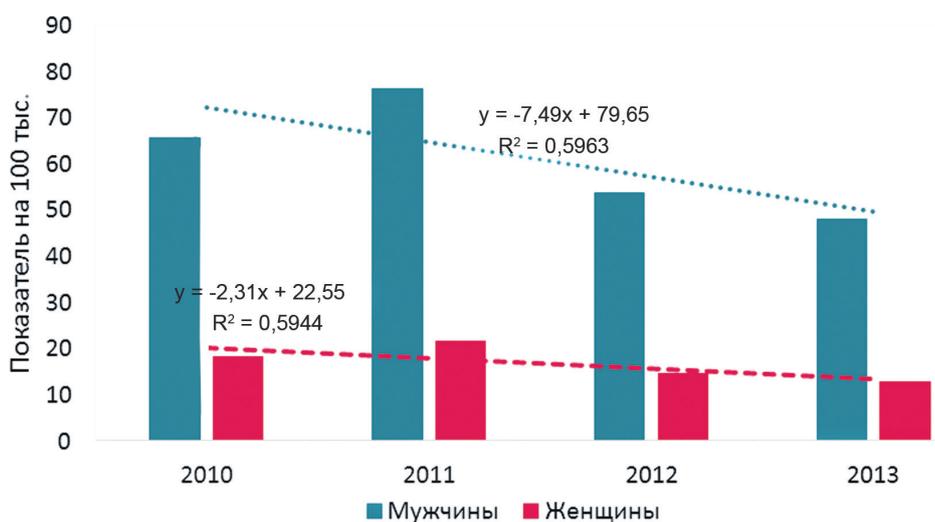


Рис. 11. Смертность мужского и женского населения Республики Беларусь от причин, связанных с алкоголем

Fig. 11. Male and female mortality population from alcohol-related causes in the Republic of Belarus

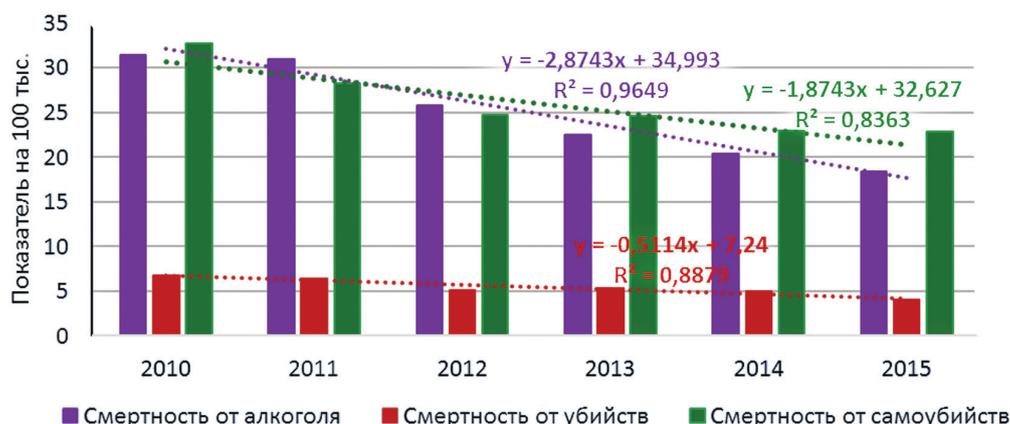


Рис. 12. Смертность трудоспособного населения Республики Беларусь от алкоголя, убийств и самоубийств

Fig. 12. Mortality of the working-age population of the Republic of Belarus from alcohol, homicides and suicides

Анализ взаимосвязи показателей смертности населения от внешних причин, а также социально-экономических факторов проводили методом ранговой корреляции Спирмена. Был рассчитан коэффициент корреляции между смертностью населения от внешних причин в целом и отдельных внешних воздействий в частности, а также количество ДТП, совершенных в состоянии алкогольного опьянения, с одной стороны, и потребление алкоголя на душу населения; заболеваемость алкоголизмом, реальные располагаемые денежные доходы, численность занятого населения – с другой (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционный анализ взаимосвязи внешних причин смертности и некоторых факторов социального и экономического характера

Table 2

Correlation analysis of the relationship between external causes of death and some social and economic factors

Воздействие внешних причин	Параметры социального и экономического характера			
	Потребление алкоголя на душу населения	Заболеваемость населения алкоголизмом	Численность занятого населения	Денежные доходы населения в % к предыдущему году
Смертность от внешних причин	0,77*	0,9*	0,45**	-0,08
Утопления	0,42**	0,58	0,36	0,22
Самоубийства	0,51**	0,98*	0,21	-0,15
Отравления алкоголем	0,79*	0,91*	0,47	-0,14
Количество ДТП, совершенных в состоянии алкогольного опьянения	0,72*	0,94*	0,49	-0,23
Смертность населения в результате ДТП	0,66**	0,89*	0,04	-0,05

Примечание: * высокая теснота связи, ** умеренная теснота связи

Рассчитанный коэффициент корреляции показал *сильную связь* между:

- смертностью от внешних причин и заболеваемостью алкоголизмом (табл. 2);
- заболеваемостью алкоголизмом и смертностью от самоубийств (табл. 2; рис. 13);
- заболеваемостью алкоголизмом и смертностью от отравления алкоголем и в результате ДТП (табл. 2; рис. 14).

Количество ДТП, совершенных в состоянии алкогольного опьянения, сильно коррелировало с потреблением алкоголя на душу населения и заболеваемостью алкоголизмом.

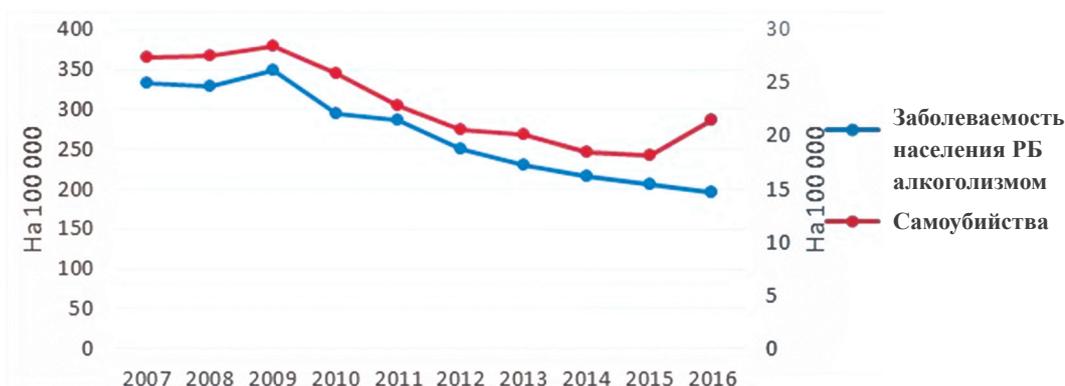


Рис. 13. Динамика заболеваемости населения алкоголизмом и смертности от самоубийств (Республика Беларусь)

Fig. 13. Dynamics of alcoholism incidence and suicide mortality (Republic of Belarus)

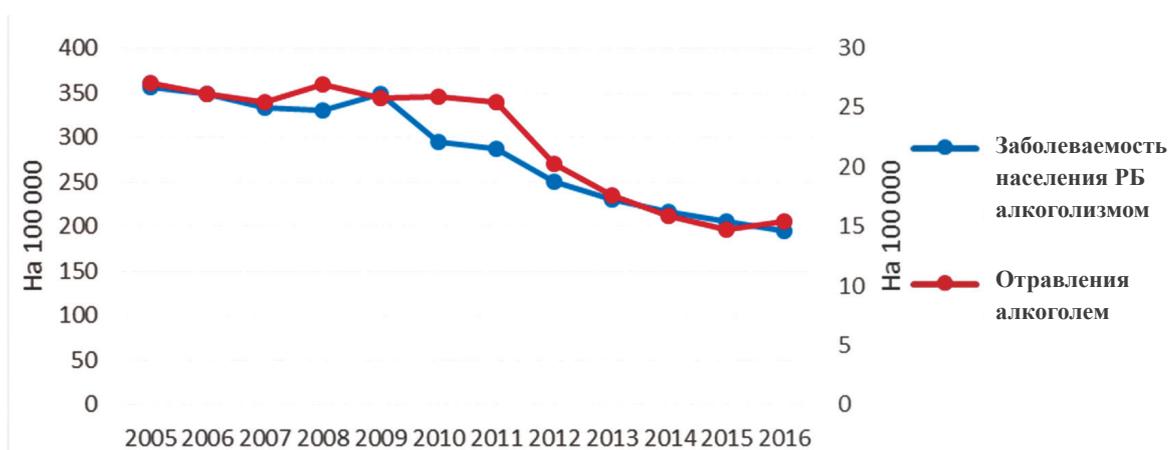


Рис. 14. Динамика заболеваемости населения алкоголизмом и смертности от отравлений алкоголем

Fig. 14. Dynamics of alcoholism incidence and mortality from alcohol poisoning

Умеренная теснота связи просматривалась между потреблением алкоголя и смертностью от внешних причин различного характера (табл. 2; рис. 15–17).

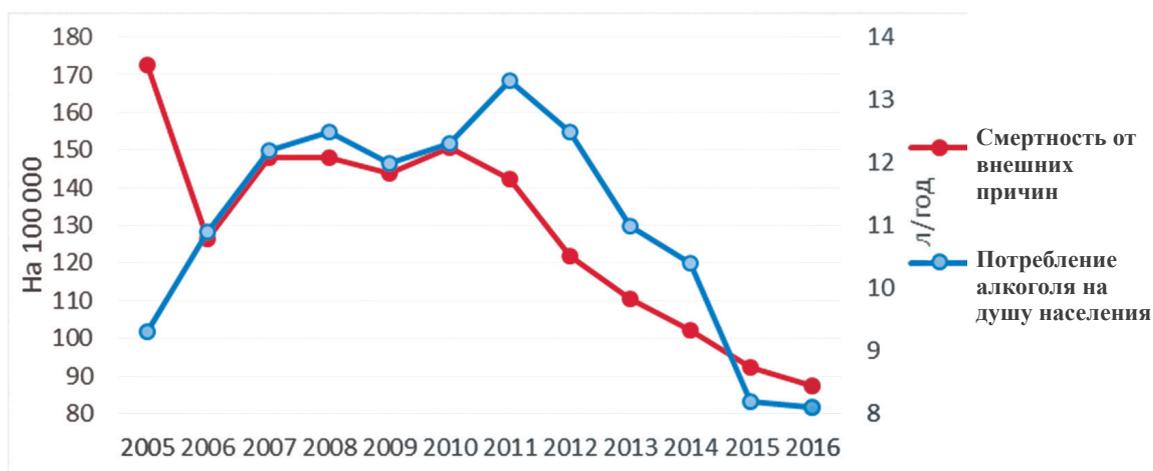


Рис. 15. Динамика смертности от внешних причин и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 15. Dynamics of mortality from external causes and alcohol consumption per capita

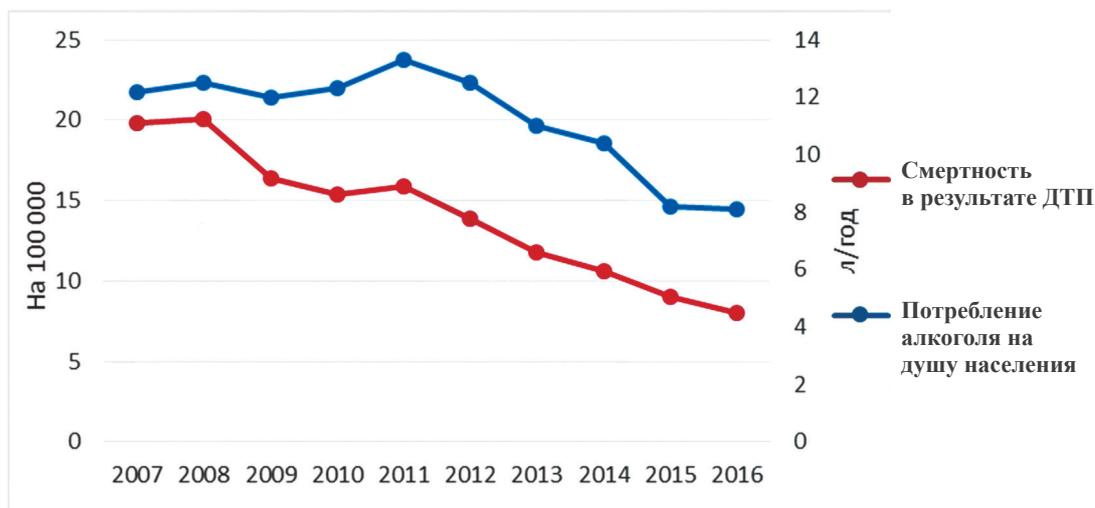


Рис. 16. Динамика смертности в результате ДТП и потребления алкоголя на душу населения

Fig. 16. Dynamics of road traffic deaths and alcohol consumption per capita

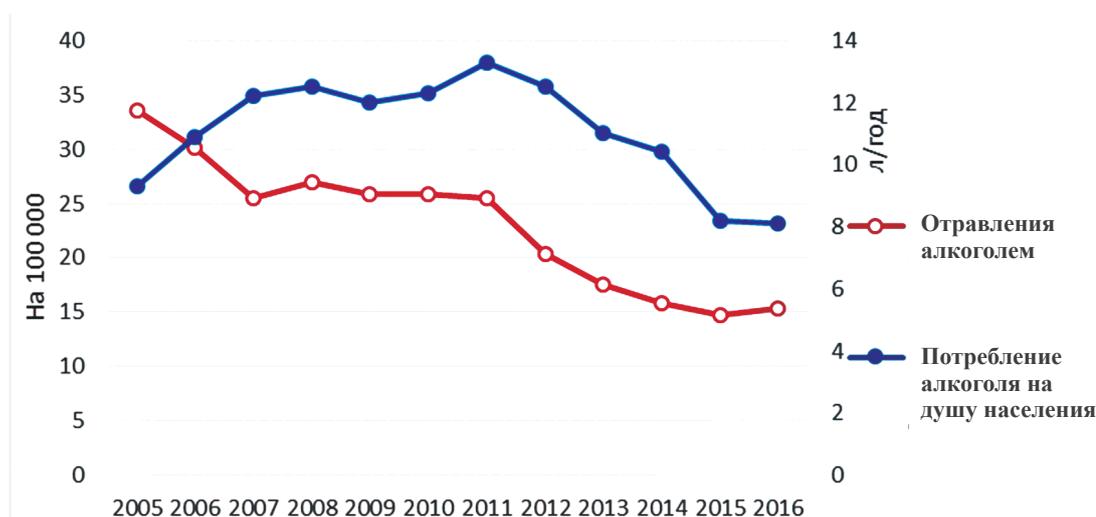


Рис. 17. Динамика потребления алкоголя на душу населения и смертности от отравлений алкоголем

Fig. 17. Dynamics of alcohol consumption per capita and mortality from alcohol poisoning

Занятость населения, доходы населения практически не оказывают влияния на показатели смертности от внешних причин как в целом, так и по характеру воздействия, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции (табл. 2).

Заключение

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Показана сильная прямая корреляционная связь между:
 - заболеваемостью алкоголизмом и правонарушениями в состоянии алкогольного опьянения (коэффициент корреляции 0,95);
 - заболеваемостью алкоголизмом и дорожно-транспортными происшествиями, совершенными в состоянии алкогольного опьянения (коэффициент корреляции 0,8).
- Показана умеренная корреляционная связь количества правонарушений и дорожно-транспортных происшествий в состоянии алкогольного опьянения с потреблением алкоголя на душу населения (коэффициенты корреляции 0,71 и 0,65 соответственно).
- С потреблением алкоголя на душу населения более тесно связаны такие социально значимые показатели, как число разводов и численность занятого населения (коэффициенты корреляции 0,9 и 0,82 соответственно).

4. Показана сильная прямая корреляционная связь между:
– смертностью от внешних причин и заболеваемостью алкоголизмом (коэффициент корреляции 0,9);
– заболеваемостью алкоголизмом и смертностью от самоубийств (коэффициент корреляции 0,98);
– заболеваемостью алкоголизмом и смертностью от отравления алкоголем и в результате ДТП (коэффициенты корреляции 0,91 и 0,89 соответственно).

5. Количество ДТП, совершенных в состоянии алкогольного опьянения, также сильно коррелирует с потреблением алкоголя на душу населения (коэффициент корреляции 0,72) и заболеваемостью алкоголизмом (коэффициент корреляции 0,94).

Таким образом, алкоголь является одним из основных поведенческих факторов, влияющий на смертность населения от внешних причин, а заболеваемость алкоголизмом – наиболее специфичный индикатор алкогольных проблем в обществе.

Библиографические ссылки

1. Потребление алкогольных напитков. Розничная и оптовая торговля, общественное питание Республики Беларусь. В: *Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Статистический сборник* Минск: [б. н.]; 2017. с. 55.
2. Сыса АГ, Живицкая ЕП, Ковалева АВ, Ивлева ДВ. Оценка этиологической доли ассоциированных с алкоголем опухолей в Республике Беларусь. *Экологический вестник*. 2015;2:58–63.
3. Сыса АГ, Макаревич ДВ, Живицкая ЕП. Потребление алкоголя как фактор риска опухолей гортани в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2017;1:64–71.
4. Социальное положение и уровень жизни населения Республики Беларусь. В: *Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Статистический сборник*. Минск: [б. н.]; 2017. с. 226–231.
5. Илюк РД, Рыбакова КВ, Крупицкий ЕМ. *Сравнительная характеристика формирования зависимости при потреблении пива и крепких алкогольных напитков*. СПб: Издательство СПб НИПНИ им. В. М. Бехтерева; 2011. 168 с.
6. Здравоохранение в Республике Беларусь. В: *Официальный статистический сборник*. Минск: Республиканская научная медицинская библиотека; 2001–2011.

References

1. *Potreblenie alkogolnykh napitkov. Roznichnaja i optovaja trgovlja, obshchestvennoe pitanie Respubliki Belarus* [Consumption of alcoholic beverages. Retail and wholesale trade, catering of the Republic of Belarus]. In: *Natsionalny statisticheskiy komitet Respubliki Belarus. Statisticheskij sbornik* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Statistics]. Minsk: [publisher unknown]; 2017. p. 55. Russian.
2. Sysa AG, Zhivitskaya EP, Kovaleva AV, Ivleva DV. *Otsenka etiologicheskoy doli assotsirovanykh s alkogolem opukholey v Respublike Belarus* [Cancers attributable to consumption of alcohol in the Republic of Belarus]. *Ekologicheskij vestnik* [Ecological Bulletin]. 2015;2:58–63. Russian.
3. Sysa AG, Makarevich DV, Zhyvitskaya AP. *Potreblenie alkogolja kak faktor riska opukholey gortani v Respublike Belarus* [Larynx cancers attributable to alcohol consumption in the Republic of Belarus]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologija* [Journal Belarusian State University. Ecology]. 2017; 1:64–71. Russian.
4. *Sotsialnoe polozhenie i uroven zhizni naselenija v Respublike Belarus* [Social status and standard of living of the population of the Republic of Belarus]. In: *Natsionalny statisticheskiy komitet Respubliki Belarus. Statisticheskij sbornik* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Statistics]. Minsk: [publisher unknown]; 2017. p. 226–231. Russian.
5. Ilyuk RD, Rubakova KV, Krupitsy EM. *Sravnitel'naja kharakteristika formirovaniya zavisimosti pri potreblenii piva i krepkih alkogolnykh napitkov* [Comparative characteristic of formation of dependence at consumption of beer and strong alcoholic beverage]. Saint Petersburg: Publishing house of St. Petersburg psychoneurological research instituten after named V. M. Bekhterev; 2011. 168 p. Russian.
6. *Zdravookhranenie v Respublike Belarus* [Health care in the Republic of Belarus]. In: *Ofitsialnyy statisticheskiy sbornik*. [Official statistics]. Minsk: Respublikanskaja naychnaja meditsinskaja biblioteka; 2001–2011. Russian.

Статья поступила в редакцию 04.09.2019.
Received by editorial board 04.09.2019.

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 621.32

СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ

А. Н. БАРАН¹⁾, В. А. ПАШИНСКИЙ¹⁾, Л. А. ЛИПНИЦКИЙ¹⁾

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

Анализируются результаты исследований работы светодиодных лент и прожекторов, которые являются нелинейной нагрузкой с гармоническими составляющими. Возникающие при использовании светодиодных источников света высокие гармоники приводят к существенному возрастанию потерь при передаче энергии, снижению коэффициента мощности и могут вызывать сбои в работе пускозащитной аппаратуры. При выборе пускозащитных аппаратов питающих линий необходимо вводить корректирующие коэффициенты, учитывающие нелинейный характер светодиодной техники. Замена ламп накаливания и газоразрядных источников света в Республике Беларусь позволит снизить техногенную нагрузку на экосистему при производстве электроэнергии.

Ключевые слова: светодиодные источники света; лента; прожектор; напряжение; ток; коэффициенты мощности.

Образец цитирования:

Баран АН, Пашинский ВА, Липницкий ЛА. Светодиодные источники света и их влияние на питающую сеть. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:91–99.

For citation:

Baran AN, Pashinski VA, Lipnizki LA. LED light sources and their tract on the supply network. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:91–99. Russian.

Авторы:

Александр Николаевич Баран – кандидат технических наук; доцент кафедры энергоэффективных технологий.

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

Леонид Александрович Липницкий – кандидат технических наук; доцент кафедры энергоэффективных технологий.

Authors:

Aliaksandr N. Baran, PhD (engineering); associate professor at the department of energy efficient technologies.

baran.1953@mail.ru

Vasily A. Pashinski, PhD (engineering), docent; head at the department of energy efficient technologies.

pashynski@mail.ru

Leonid A. Lipnizki, PhD (engineering); associate professor at the department of energy efficient technologies.

leonid-l@tut.by

LED LIGHT SOURCES AND THEIR TRACT ON THE SUPPLY NETWORK

A. N. BARAN^a, V. A. PASHINSKIY^a, L. A. LIPNITSKIY^a

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

Corresponding author: V. A. Pashinskiy (pashynski@mail.ru)

The results of studies of the operation of LED strips and spotlights, which are a non-linear load with harmonic components, are analyzed. High harmonics arising from the use of LED light sources lead to a significant increase in losses during energy transfer, a decrease in power factor, and can cause malfunctions of the start-up protection equipment. When choosing start-up devices for supply lines, it is necessary to introduce corrective coefficients that take into account the nonlinear nature of LED technology. Replacement of incandescent lamps and gas-discharge light sources in the Republic of Belarus will reduce the technogenic load on the ecosystem in the production of electricity.

Key words: LED light sources; strip; spotlight; voltage; current; power factors.

Введение

Потребление электроэнергии на освещение в общем расходе электроэнергии в разных странах неодинаково. Оно колеблется от 5 до 15 % для развитых и до 80 и более процентов для развивающихся стран. В 2018 г. потребление электрической энергии в Республике Беларусь составило 38,8 млрд кВтч, при этом на электрическое освещение приходится около 19 % от этого количества, что составляет 7,37 млрд кВтч электроэнергии [1]. В последние десятилетия многие развитые страны начали активную работу по последовательной замене ламп накаливания и газоразрядных источников света более современными энергосберегающими источниками света. В России отказ от ламп накаливания мощностью более 100 Вт позволил сэкономить 6030 МВт, что составляет мощность Саяно-Шушенской ГЭС [2].

Из существующих источников оптического излучения наиболее интересными и перспективными являются светодиодные источники света, построенные на полупроводниковых приборах с р–n-переходом, излучающим некогерентный свет при пропускании через него в прямом направлении электрического тока. Они являются реальной альтернативой достаточно широко применяемым в настоящее время в Беларуси лампам накаливания и газоразрядным лампам.

Параметры светодиодов значительно зависят от величины приложенного к ним напряжения и протекающего через них тока. Наиболее широкое распространение получили модели светодиодов, рассчитанные на ток от 10 до 20 мА. При увеличении приложенного к светодиоду напряжения и протекающего через него тока возрастает светоотдача излучающего р–n-перехода. Таким образом, изменяя приложенное напряжение, можно регулировать величину светового потока источника.

Широкому использованию светодиодных источников света способствует ряд экологических преимуществ:

- низкое энергопотребление, которое в несколько раз ниже, чем у люминесцентных ламп, и почти на порядок ниже, чем у ламп накаливания, что существенно снижает расходы топлива на производство электроэнергии;
- высокая световая отдача, которая составляет до 200 лм/Вт, выше световой отдачи ламп накаливания в 6...12 раз, люминесцентных ламп 1,5...2 раза, при этом отсутствие мерцания снижает нагрузку на зрение, что соответствует гигиеническим требованиям;
- большой срок службы, который может достигать у некоторых светодиодов до 30 тыс. ч, существенно сокращает количество промышленных отходов, связанных с вопросом организации освещения;
- отсутствие высоких электрических напряжений и температур всех элементов светильника и электрической сети увеличивает долговечность оборудования и снижает вредные выбросы, возникающие при его нагреве;
- отсутствие таких особо опасных соединений, как ртуть, делает переработку светодиодных источников освещения более простой.

В Беларуси замена ламп накаливания и газоразрядных источников света светодиодными источниками света позволила бы снизить потребление электроэнергии на электрическое освещение до 4,0 млрд кВтч электроэнергии в год, что уменьшило бы потребность в первичном топливе на 941, 2 тыс. т у. т., при удельном расходе топлива на производство электроэнергии 235,3 г у. т./кВтч [1]. Экологическая на-

грузка на экосистему при производстве электроэнергии при сжигании природного газа уменьшилась бы более чем на 1880 тыс. т, в пересчете на диоксид углерода¹.

Вместе с тем светодиодные источники имеют достаточно высокую стоимость, несовместимость с существующим напряжением питающей сети, особые требования к источникам питания, постепенное снижение светотехнических характеристик с увеличением срока эксплуатации, ограниченный угол светового потока, особенности, связанные с цветовым спектром и пульсацией света.

Светодиодные источники – это нелинейные элементы электрической сети, что является их наиболее важной особенностью. Они вызывают появление гармонических составляющих в спектре электрических величин питающей сети. Увеличение применения светодиодных источников при перечисленных выше достоинствах приводит к заметному росту искажения гармонического сигнала питающей сети и ухудшению качества электрической энергии, что влияет на режим работы электродвигателей, трансформаторов и термического электрооборудования.

Количество и величина высших гармоник светодиодных источников во многом будет определяться и тем, что многие производители, стремясь удешевить свою продукцию, снижают ее качество.

В результате светодиодные источники света могут быть источником высших гармоник, приводящих к превышению допустимых нормативных значений тока и напряжения. Как показывали ранее проводимые исследования, светодиодные и газоразрядные источники света могут иметь довольно значительные значения высших гармоник третьего порядка, а также в некоторых случаях 9-го и 15-го порядка [3].

Отдача в электрическую сеть гармонических составляющих тока и напряжения светодиодных источников света приводит к ряду негативных последствий, среди которых можно выделить погрешности измерения электроэнергии, дополнительные потери мощности в электросетях и трансформаторах, излишнюю нагрузку на провода и изоляцию питающей сети, проблемы компенсации реактивной составляющей электрической мощности, помехи, создаваемые для систем передачи электромагнитных сигналов.

Нелинейные характеристики светодиодных приборов не учитываются при существующих методиках расчета электрических сетей и выборе пускозащитных аппаратов, хотя величина таких отклонений тока составляет до 63 %, а дополнительные потери мощности доходят до 30 % [1, 4–8]. Это подтверждается исследованиями авторов, изучающих использование светодиодных источников света на различных объектах.

Для защиты осветительных сетей от токов короткого замыкания, как правило, сегодня применяют автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем. Их выбирают по номинальному напряжению, номинальному току, предельно отключаемому току, по току срабатывания уставки (отсечки). При выборе по току срабатывания уставки (отсечки) должны быть выполнены условия:

$$I_{отс} \geq k_{н.м.} I_{к.з.макс}; \quad (1)$$

$$I_{отс} \geq k_{ср.м.} I_{н.м.р.}, \quad (2)$$

где $k_{н.м.}$ – коэффициент надежности максимальных расцепителей с обратно зависимой от тока характеристикой;

$k_{ср.м.}$ – кратность тока срабатывания максимального мгновенно действующего расцепителя по отношению к номинальному току расцепителя;

$I_{к.з. макс}$ – максимальный ток короткого замыкания в месте установки выключателя, А;

$I_{н.м.р.}$ – номинальный ток максимального расцепителя, А.

Учитывая то, что доля электроэнергии на освещение в общем потреблении электрической энергии составляет для многих потребителей порядка 20–30 %, важно понимать последствия от перехода на светодиодные источники света и связанное с этим негативное воздействие гармонических составляющих на систему электроснабжения.

Материалы и методы исследования

Активная мощность светодиодных источников света может значительно отличаться от произведения действующих значений напряжения, тока и коэффициента мощности, так как кривые мгновенных значений этих величин существенно отличаются от синусоид. Следовательно, для вычисления истинного значения мощности разряда в межэлектродном промежутке необходимо разложить кривые тока

¹ТКП 17.09-01-2011(02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов за счет внедрения мероприятий по энергосбережению, возобновляемых источников энергии. Введен в действие приказом Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 05.09.2011. Минск: [б. н.]; 2011. 31 с.

и напряжения на гармонические составляющие. Для характеристики данного процесса, кроме коэффициента мощности, определяемого по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}, \quad (3)$$

используется термин коэффициента искажения гармонического сигнала

$$k_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}, \quad (4)$$

где P – активная мощность, Вт;

U – действующее значение напряжения, В;

I – действующее значение тока, А;

U_n – напряжение высших гармоник, В;

U_1 – напряжение первой гармоники, В.

Коэффициент искажения гармонического сигнала зависит от качества сетевого напряжения и не является постоянным для данных источников оптического излучения. ГОСТ 32144-2013 допускает отклонение напряжения у потребителя $\pm 10\%$ от номинального в течение 100 % времени интервала в одну неделю². Таким образом, изменение сетевого фазного напряжения допускается в интервале от 198 В до 242 В, что влечет за собой изменения тока и мощности светодиодного источника света.

Для каждого светодиода существуют допустимые значения напряжения питания U_{min} и U_{max} . При подаче напряжения свыше значений U_{max} наступает электрический пробой, в результате которого светодиод выходит из строя. При напряжении ниже U_{min} светодиод не генерирует видимое излучение. Диапазон питающих напряжений между U_{min} и U_{max} называют «рабочей» зоной (допустимым диапазоном изменения напряжения).

Для более детального исследования этих явлений на кафедре энергоэффективных технологий МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ разработан и изготовлен испытательный стенд (рис. 1), позволяющий фиксировать не только интегральные характеристики измеряемых величин, но и наблюдать их в динамике.

Исследования проводились в диапазоне «рабочего» напряжения от 100 до 260 В: с момента зажигания и до допустимых перенапряжений. Осциллограммы напряжения и тока исследовали двухлучевым осциллографом Hantek DSO 5062B.

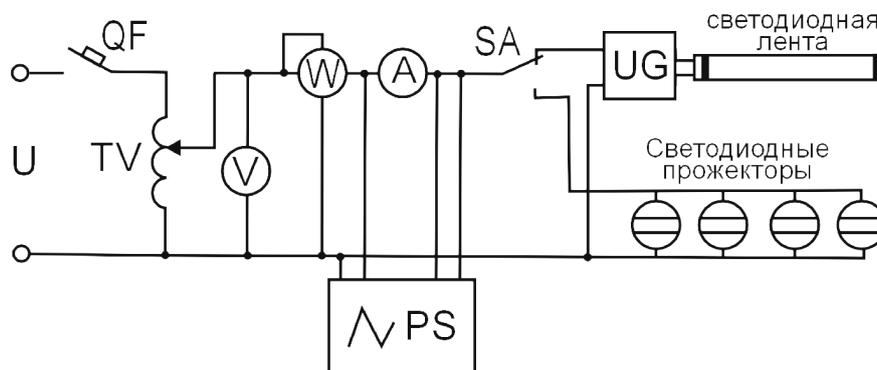


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема испытательного стенда:

QF – автоматический выключатель; TV – регулятор напряжения; SA – переключатель; W – ваттметр; A – амперметр; V – вольтметр; PS – осциллограф Hantek DSO 5062B; UG – блок питания светодиодной ленты INPOT AC 180 – 264 В

Fig. 1. Schematic diagram of the test bench: QF – circuit breaker; TV – voltage regulator; SA – switch; W – wattmeter; A – ammeter; V – voltmeter; PS – oscilloscope Hantek DSO 5062B; UG – LED strip power supply INPOT AC 180 – 264 В

Результаты исследований и их обсуждение

Полученные осциллограммы напряжений на источниках со светодиодными лентой и прожекторами представлены соответственно на рис. 2 и 3.

²Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва: Стандартинформ; 2014. 19 с.



a/a



б/б



в/в

Рис. 2. Осциллограмма напряжения (1) и тока (2) при работе светодиодных лент при напряжении: а – 200 В; б – 225 В; в – 250 В

Fig. 2. Oscillogram of voltage (1) and current (2) during operation of LED strips at voltage: a – 200 V; b – 225 V; c – 250 V



Рис. 3. Осциллограмма напряжения (1) и тока (2) при работе светодиодных прожекторов СДО-06

Fig. 3. Oscillogram of voltage (1) and current (2) during operation of LED spotlights SDO-06

Осциллограммы показали наличие в напряжении, проходящем через светодиодный источник, гармоник, существенно искажающих форму синусоидального сигнала указанных величин. Однако мощность лампы не равна произведению действующих значений напряжения и тока, так как кривые мгновенных значений этих величин существенно отличаются от синусоид, следовательно, для вычисления истинного значения мощности разряда в р–п-переходе светодиода необходимо разложить кривые тока и напряжения на гармонические составляющие. Поэтому пользуются термином «коэффициент искажения»:

$$k_a = \frac{P}{UI} . \quad (5)$$

Работа светодиодных источников света в сети переменного тока несколько отличается от работы в сети постоянного тока и вносит свои дополнительные требования к оптимизации схем их источников питания. Во время работы в сети переменного тока процессы появления и прекращения электрического разряда в источнике возобновляются в течение каждого полупериода синусоидального изменения напряжения питающей сети, при этом параметры источника (напряжение, ток и поток излучения) постоянно изменяются.

Вольт-амперная характеристика светодиода нелинейная, поэтому каждому значению напряжения соответствует своя величина протекающего через светодиод тока. Чем выше напряжение, тем выше значение тока и тем больше излучаемый световой поток (светимость), при этом световой поток изменяется и, следовательно, регулируется при изменении напряжения.

С помощью измерительных приборов стенда были получены значения тока и активной мощности, произведен расчет полной мощности и коэффициента мощности на исследуемых светодиодных источниках света при различных значениях входного напряжения в принятом «рабочем» диапазоне. Результаты исследований представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты исследований светодиодных лент LED Strip 5050SND l = 5 м, 6 шт., 2 блока x 300 Вт

Table 1

Research results of LED strips 5050SND l = 5 m, 6 pcs., 2 blocks x 300 W

Напряжение сети, В	Ток, А	Мощность активная, Вт	Полная мощность, ВА	cos φ
100	6,0	264	600	0,440
120	5,0	294	600	0,490
140	4,5	321	630	0,510
160	3,9	340	624	0,545
180	3,6	351	648	0,542
200	3,5	356	698	0,510
220	3,25	365	715	0,510
240	3,0	377	720	0,523
260	2,8	399	728	0,548

Результаты исследований прожекторов LED СДО-06

Table 2

The research results of LED spotlights SDO-06

Напряжение сети, В	Ток, А	Мощность активная, Вт	Полная мощность, ВА	cos φ
100	3,10	266	310	0,850
120	2,93	295	352	0,839
140	2,74	321	384	0,837
160	2,56	340	410	0,830
180	2,40	352	432	0,772
200	2,28	356	456	0,781
220	2,20	365	484	0,754
240	2,11	377	506	0,740
260	2,03	399	528	0,750

Исходя из полученных результатов были построены графики зависимости тока, активной, полной мощности и коэффициента мощности при исследуемых значениях напряжений, которые представлены на рис. 4 для источника со светодиодной лентой, на рис. 5 – для светодиодных прожекторов.

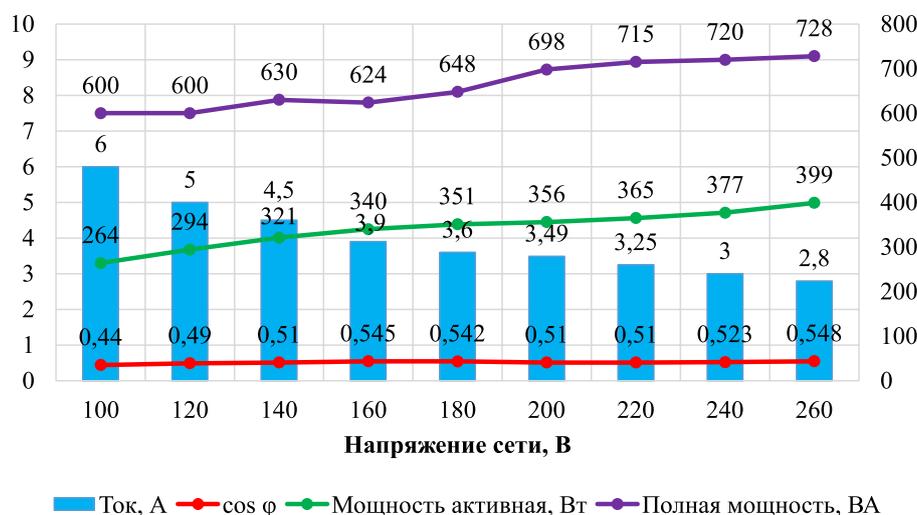


Рис. 4. Зависимость тока, активной и полной мощности, коэффициента мощности светодиодной ленты LED Strip 5050SND от питающего напряжения

Fig. 4. Dependence of current, active and apparent power, power factor of LED strip 5050SND on supply voltage

Анализ полученных результатов свидетельствует, что изменение сетевого напряжения на светодиодных источниках света происходит в допустимом стандартом диапазоне – от 198 до 242 В, ведет к уменьшению тока на 17 % и увеличению активной мощности на 8 %, а полной мощности в среднем на 12 %. При этом коэффициент мощности будет иметь достаточно низкие значения и составлять в указанном диапазоне напряжений для исследуемого источника на светодиодной ленте 0,51–0,55, а для светодиодных прожекторов – 0,74–0,78.

Для повышения коэффициента мощности питающей сети со статичной осветительной нагрузкой возможно использование пассивных фильтрокомпенсирующих устройств.

Применение устройств компенсации реактивной мощности позволяет:

- поддерживать необходимый коэффициент мощности электроустановок;
- повысить качество электроэнергии непосредственно в сетях электроснабжения;
- снизить расход электроэнергии на освещение до 45–49 % для светодиодных лент и 22–26 % светодиодных прожекторов;
- уменьшить потери энергии и мощности в системе электроснабжения (воздушных линиях, трансформаторах);
- уменьшить нагрузку элементов питающей или распределительной сети, увеличить их срок службы.

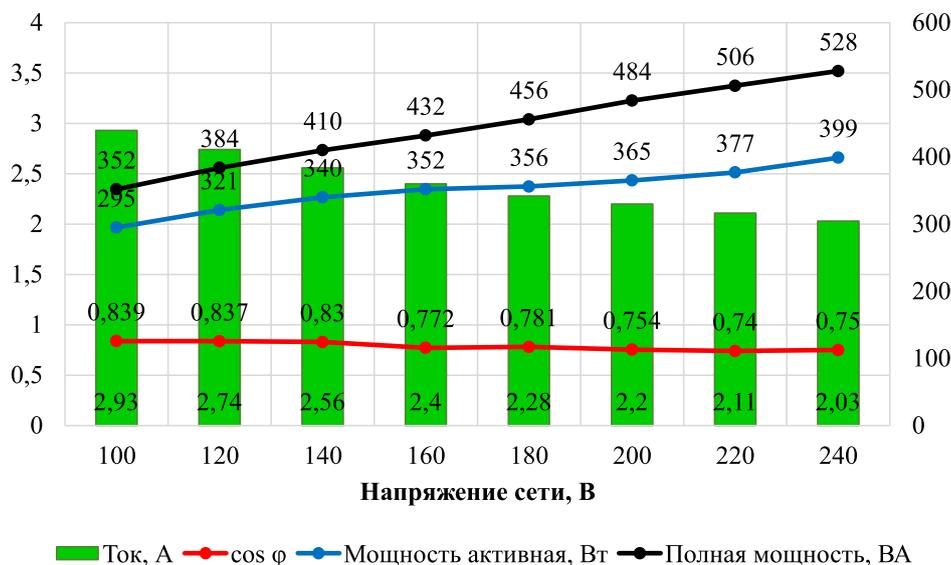


Рис. 5. Зависимость тока, активной и полной мощности, коэффициента мощности светодиодных прожекторов СДО-06 от питающего напряжения

Fig. 5. Dependence of current, active and apparent power, power factor of LED spotlights SDO-06 on supply voltage

Компенсация реактивной мощности в осветительной установке может быть индивидуальной, когда компенсирующие конденсаторы устанавливаются вместе с каждой лампой или блоком питания светодиодной ленты, и групповой, если их устанавливают на групповых линиях в питающей сети или на шинах подстанции. Выбор того или иного способа компенсации реактивной мощности определяется технико-экономическим обоснованием.

Мощность компенсирующей установки Q , кВАр, необходимой для повышения коэффициента мощности сети, определяется как

$$Q = P_{\text{расч}}(tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (6)$$

где $P_{\text{расч}}$ – суммарная расчетная мощность осветительной установки с учетом коэффициентов спроса и потерь в блоке питания, кВт;

$tg\varphi_1, tg\varphi_2$ – углы сдвига фаз соответственно до и после компенсации.

Заключение

Светодиодные источники света являются нелинейной нагрузкой с емкостным характером. Широкое внедрение светодиодных светильников может сопровождаться возникновением проблем, связанных с поддержанием нормативных значений показателей качества электроэнергии, поскольку их работа приводит к появлению в питающих электрических сетях высших гармоник тока и напряжения. Реальные мгновенные и действующие токи существенно отличаются от токов первой гармоники.

Возникающие при использовании светодиодных источников света высокие гармоники приводят к возрастанию потерь при передаче и потреблении энергии другими потребителями до 30 % и могут вызывать сбои в работе пускозащитной аппаратуры.

Замена ламп накаливания и газоразрядных источников света в Беларуси светодиодными источниками позволит снизить экологическую нагрузку на экосистему при производстве электроэнергии более чем на 1880 тыс. т (в пересчете на диоксид углерода).

В результате проведенных исследований мы пришли к следующим выводам:

- при выборе пускозащитных аппаратов и питающих линий необходимо вводить корректирующие коэффициенты, учитывающие нелинейный характер нагрузки и связанное с ним увеличение мгновенных значений тока. Конкретизация коэффициентов требует дальнейших исследований;
- для снижения гармоник тока и повышения коэффициента мощности целесообразно использовать в цепях со светодиодными источниками света активной коррекции с помощью специальных корректоров коэффициента мощности.

Библиографические ссылки

1. Официальный сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Интернет]. [Прочитано 19 апреля 2019 г.]. Доступно по: <http://minenergo.gov.by/obem-proizvodstva-jelektroenergii-v-2018-godu-v-belarusi-vygos-na-12-9/>
2. Гужов СВ. Оценка влияния источников питания светодиодных светильников на питающую сеть. *Современная светотехника*. 2009;2:47–49.
3. Боярская НП, Темербаев СА, Довгун ВП, и др. Анализ спектрального состава токов и напряжения светодиодных и газоразрядных источников света. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2013;8:180–184.
4. Алферов АА, Якимов УА, Широков ОГ, Алферова ТВ. Влияние светодиодных источников света на содержание гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий. *Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого*. 2016;3:67–74.
5. Бирюлин ВИ, Чернышев ЛС, Куделина ДВ. Исследование работы светодиодных светильников. *Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета* [Интернет]. 2018;3(19). [Прочитано 19 апреля 2019 г.]. Доступно по: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/019-013>.
6. Радкевич ВН, Михайлова ЯВ. Характеристики электропотребления светодиодных световых приборов и их учет при расчете электрических сетей. *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений Содружества Независимых Государств. Энергетика*. 2016;4:289–300.
7. Петухов ВС. Энергосберегающие лампы как источник света. *Новости электротехники* [Интернет]. 2009;5(59). [Прочитано 19 июня 2019 г.]. Доступно по: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/59/10.php>.
8. Гуревич ВИ. Применение энергосберегающих дам. Проблема не техническая, а экономическая. *Новости электротехники*. [Интернет] 2009;6(60). [Прочитано 19 июня 2019 г.]. Доступно по: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/60/09.php>.

References

1. *Ofitsialnyy sait Ministerstva energetiki Respubliki Belarus* [Official website of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus] [Internet]. [Cited 2019 April 19]. Available from: <http://minenergo.gov.by/obem-proizvodstva-jelektroenergii-v-2018-godu-v-belarusi-vygos-na-12-9/> Russian.
2. Guzhov SV. Evaluation of the influence of power supplies of LED lamps on the supply network. *Sovremennaja svetotekhnika* [Modern Lighting Engineering]. 2009;2:47–49. Russian.
3. Boyarskaya NP, Temerbaev SA, Dovgun VP, et al. Analysis of the spectral composition of currents and voltages of LED and gas-discharge light sources. *Vestnik Krasnojarskogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnojarsk State Agricultural University]. 2013;8:180–184. Russian.
4. Alferov AA, Jakimov UA, Shirokov OG, Alferova TV. The influence of LED light sources on the content of harmonics of current and voltage in the power supply systems of industrial enterprises. *Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P.O. Sukhogo* [Bulletin of Gomel State Technical University after named P. O. Suchogo]. 2016;3:67–74. Russian.
5. Biryulin VI, Chernyshev LS, Kudelina DV. Study of the work of LED lamps. *Auditorium. Elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta* [Auditorium. Electronic scientific journal of Kursk State University] [Internet]. 2018;3(19). [Cited 2019 April 19]. Available from: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/019-013>. Russian.
6. Radkevich VN, Mikhailova YV. Power consumption characteristics of LED lighting devices and their accounting when calculating electric networks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh obiedineniy Sodruzhestva Nezvisimykh Gosudarstv* [News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. Energy]. 2016;4:289–300. Russian.
7. Petukhov VS. Energy-saving lamps as a light source. *Novosti elektrotekhniri* [News of Electrical Engineering]. [Internet]. 2009;5(59). [Cited 2019 June 19]. Available from: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/59/10.php>. Russian.
8. Gurevich VI. The use of energy-saving dump. The problem is not technical, but economic. *Novosti elektrotekhniri* [News of electrical engineering]. [Internet]. 2009;6(60). [Cited 2019 June 19]. Available from: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/60/09>. Russian.

Статья поступила в редколлегию 12.09.2019.
Received by editorial board 12.09.2019.

УДК 579.64

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОРФОВАНИЯ И ЗЕМЛЕВАНИЯ

Е. Е. ГАЕВСКИЙ¹⁾, Я. К. КУЛИКОВ¹⁾

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

Приведены результаты исследования по изучению микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в процессе окультуривания под действием торфования и землевания. Решение проблемы эффективного использования дерново-подзолистых песчаных почв и повышение их плодородия является важной задачей агропочвоведения и агроэкологии. Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы торфованием и землеванием повышает содержание органического вещества с 1,4 до 4,1 % и обеспечивает оптимизацию структурной организации микробного комплекса, что проявляется в увеличении показателя видовой разнообразия бактериальной флоры с 19,4 до 30,6 %. При этом в окультуренной песчаной почве формируются качественно новые микробные ценозы, видовой состав которых более чем на 50 % отличается от бактериальных комплексов неоккультуренной почвы.

Ключевые слова: песчаная почва; окультуривание; микробные сообщества; видовой состав; энергетическая эффективность; продуктивность.

MICROBIOLOGICAL AND ENERGY ASSESSMENT OF CULTIVATION OF SOD-PODZOLIC SAND SOIL UNDER THE ACTION OF PEAT AND LOAM

E. E. GAEVSKII^a, YA. K. KULIKOV^a

^aBelarusian State University, 4 Nezaliežnasci, Minsk 220030, Belarus
Corresponding author: E. E. Gaevskii (ecodept@tut.by)

The paper presents the results of the study on the microflora of sod-podzolic sandy soil in the process of cultivation under the influence of peat and loam. Solving the problem of the effective use of sod-podzolic sandy soils and increasing their fertility is an important task of agricultural soil science and agroecology. The cultivation of sod-podzolic sandy soil under the action of peat and loam soil increases the content of organic matter from 1.4 to 4.1 % and optimizes the structural organization of the microbial complex, which is reflected in an increase in the species diversity of the bacterial flora from 19.4 to 30.6 %. Moreover, in the conditions of cultivated sandy soil, qualitatively new microbial cenoses are formed the species composition of which differs by more than 50 % from the bacterial complexes of uncultivated soil.

Key words: sandy soil; cultivation; microbial communities; species composition; energy efficiency; productivity.

Образец цитирования:

Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Микробиологическая и энергетическая оценка окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:100–107.

For citation:

Gaevskii EE, Kulikov YaK. Microbiological and energy assessment of cultivation of sod-podzolic sand soil under the action of peat and loam. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:100–107. Russian.

Авторы:

Евгений Евгеньевич Гаевский – старший преподаватель кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

Ярослав Константинович Куликов – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

Author:

Eugene E. Gaevskii, senior lecturer at the department of general ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

gaevski@rambler.ru

Yaroslav K. Kulikov, doctor of science (biological), docent, professor at the department of general ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

ecodept@tut.by

Введение

Окультуривание почв требует улучшения их основных свойств: повышения содержания гумуса и оптимизации гранулометрического состава, которые медленно изменяются во времени. Одним из перспективных направлений коренного улучшения низкоплодородных почв является оптимизация их качества на основе торфования и землевания. Это особенно актуально для дерново-подзолистых песчаных почв, занимающих более 20 % площади пахотных земель Беларуси. Почвы такого типа обладают низким плодородием и в процессе сельскохозяйственного использования быстро истощаются. Использование нетрадиционных мелиоративных мероприятий, в частности землевания и торфования, резко меняет направленность почвообразовательных процессов, стабилизирует состав и свойства улучшаемых почв и способствует их ускоренному окультуриванию. Однако теоретические основы таких структурных мелиораций разработаны недостаточно вследствие слабой изученности механизмов образования органоминеральных комплексов, обеспечивающих закрепление органических веществ в почве [1; 2].

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур на низкоплодородных песчаных почвах невозможно без разработки новых приемов и методов их использования, основанных на максимальной интродукции биологических факторов, в частности почвенной микробиоты. Поэтому выбор и уточнение адекватных, объективных и достоверных целевых индикаторов биологического состояния земель сельскохозяйственного назначения является актуальным и необходимым как для определения качества почв, так и при разработке мер по воспроизводству почвенного плодородия в каждом конкретном регионе. Это позволит достигнуть высокой степени экономической эффективности использования песчаных почв, позволяющей снять вопрос о целесообразности вывода их из сельскохозяйственного оборота и тем самым повысить уровень продовольственной безопасности страны [3; 4].

Отсутствие комплексного подхода в освоении и сельскохозяйственном использовании дерново-подзолистых песчаных почв не позволяет коренным образом улучшать их свойства и режимы, повышать и стабилизировать плодородие. Цель исследования – изучение влияния окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания на структуру ее микробиологического разнообразия и энергетическую эффективность этого мероприятия.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводили в 2005–2010 гг. на базе хозяйства «ПМК-16 АГРО» Борисовского р-на Минской обл. на дерново-подзолистой связнопесчаной почве.

Схема полевого опыта включала 5 вариантов:

1. Контроль (фон).
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка.
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка.
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка.
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка.

На опытные делянки площадью 50 м² в четырехкратной повторности вносили суглинок из расчета 100, 200, 300 и 400 т/га, а также торфонавозный компост в дозе 200 т/га при соотношении навоза и торфа 1:1.

Вносимый легкий суглинок характеризовался следующими агрохимическими показателями: рН_{KCl} – 6,1; сумма обменных оснований – 4,3 мг-экв/100 г почвы; подвижный фосфор – 229, обменный калий – 330 мг/кг почвы; содержание меди – 1,0, цинка – 4,6, бора – 0,44 мг/кг. Содержание физической глины – 26 %, органического вещества (гумуса) – 1,8 %.

Для приготовления торфонавозного компоста использовали низинный торф с зольностью 30 %; рН_{KCl} – 6,4; суммой обменных оснований – 19,6 мг-экв/100 г почвы, Р₂О₅ – 991, К₂О – 1200 мг/кг почвы; содержанием меди – 3,6, цинка – 14,4, бора – 2,7 мг/кг. В торфонавозном компосте 70 %-ной влажности содержалось органического вещества – 220, N_{общ} – 6, Р₂О₅ – 2, К₂О – 5, СаО – 4,5, MgO – 1 кг/т. Суглинок вносили с целью повышения содержания физической глины в почве и закрепления органического вещества в пахотном горизонте. Торфонавозный компост применяли не только с целью повышения содержания органического вещества в почве, но и для активизации деятельности почвенной микробиоты.

Для микробиологического анализа почвы отбирали образцы с глубины 1–20 см в четырех полевых повторностях. Учет численности микроорганизмов проводили по общепринятой методике на агаризованных питательных средах [5; 6].

Полевые опыты закладывали в системе пятипольного севооборота: картофель – ячмень – многолетние травы (трех лет пользования). В первый год опыта возделывали картофель сорта Темп. Это об-

условлено тем, что внесенные под картофель минеральные и органические компоненты хорошо перемешиваются с припаханным слоем почвы в 15–20 см при вспашке, окуливании, уборке урожая. Выбор картофеля в качестве исходной культуры определялся его высокой отзывчивостью на внесение органических и минеральных удобрений. Кроме того, картофель как пропашная культура характеризуется высоким выносом элементов минерального питания с урожаем клубней. В качестве фона под картофель вносили макроудобрения из расчета $N_{20}P_{40}K_{80}$.

На второй год после внесения торфонавозного компоста и суглинка изучалось их последствие на урожай ячменя сорта Коралл по фону $P_{40}K_{80}$. При возделывании зерновой культуры формировался равномерный органоминеральный пахотный горизонт. Последствие окультуривания песчаной почвы на третий-пятый год после внесения торфонавозного компоста и суглинка изучалось на многолетних бобово-злаковых травах (клевер луговой *Trifolium pratense* L., тимopheвка луговая *Phleum pratense* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L.), где в качестве фона применяли $N_{40}P_{80}K_{120}$. Минеральные удобрения вносились в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия. Обработку почвы, сроки, нормы посева и уход за культурами в период вегетации проводили в соответствии с агротехническими требованиями, рекомендуемыми для центральной части Беларуси.

Для проведения энергетического анализа нами учитывались затраты на производство органических удобрений, их перевозку и внесение, а также уборку и доработку дополнительной продукции. Кроме того, дополнительно определялись затраты энергии на заготовку фрезерного торфа и суглинка, их погрузку, транспортировку и внесение в почву. Дальность перевозки торфа и суглинка в нашем опыте не превышала два километра. Энергия, содержащаяся в прибавке урожайности, полученная в результате торфования и землевания песчаной почвы определялась по энергетическому эквиваленту каждой культуры. Коэффициент энергоотдачи рассчитывался по отношению между энергией, содержащейся в прибавке от органических удобрений, и суглинка, а также энергией, затраченной на их применение.

Результаты исследования и их обсуждение

На дерново-подзолистой песчаной почве численность микроорганизмов подвержена значительным колебаниям, связанным с применением торфонавозного компоста и различных доз суглинка. В связи с этим возникает необходимость оценки величины этих колебаний и влияния их на устойчивость микробных ценозов окультуренной песчаной почвы.

При изучении микрофлоры дерново-подзолистых песчаных почв, наряду с определением количества и соотношением отдельных эколого-трофических групп, необходимо учитывать особенности качественного состава почвенной микробиоты.

Нами было проведено изучение влияния торфования и землевания на видовой состав микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы. В настоящее время отсутствуют четкие критерии и показатели для характеристики видовой состава микробных сообществ почв различных типов. Наиболее часто определяется отношение количества штаммов определенного рода или вида микроорганизмов к общему числу штаммов. Однако такой подход затрудняет объективную экологическую оценку особенностей микрофлоры разных почв.

При изучении бактериальной флоры основное внимание было уделено спорообразующим бактериям, которые играют важную роль в почвообразовательных процессах. В неокультуренной дерново-подзолистой песчаной почве из спорообразующих бактерий преобладали *Bacillus subtilis* и *Bac. megaterium*. Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы сопровождалось увеличением количества *Bacillus subtilis* в 1,5 раза, а *Bac. cereus* – в 5 раз, при этом количество *Bac. megaterium* уменьшалось в 3 раза. Численно преобладающими в окультуренной почве были виды *Bac. subtilis* и *Bac. cereus*. Количество представителей анаэробных спорообразующих бактерий рода *Clostridium*, обладающих азотфиксирующей способностью, возрастало в дерново-подзолистой песчаной почве под действием торфования и землевания с 61 тыс./г почвы до 200–380 тыс./г почвы в зависимости от режима окультуривания (табл. 1).

В составе микроскопических грибов в изучаемой почве преобладали представители рода *Penicillium*, причем в условиях окультуривания их количество возрастало в 2–3 раза. Следует отметить, что видовой состав грибов был более разнообразным в окультуренной почве. Под действием торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы увеличивалось также количество актиномицетов и их видовое разнообразие. Таким образом, в условиях окультуривания песчаной почвы под действием торфования и землевания увеличивается количество и видовое разнообразие микрофлоры, представленной бактериями, микроскопическими грибами и актиномицетами.

Таблица 1

Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на таксономическую структуру ее микробиологического разнообразия, тыс./г почвы

Table 1

The influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil on the taxonomic structure of its microbiological diversity, thousand / g of soil

Группа микроорганизмов	Фон (контроль)	Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка
Спорообразующие аэробные бактерии, всего	430	505	570
<i>Bacillus subtilis</i>	280	355	420
<i>Bacillus cereus</i>	30	90	150
<i>Bacillus megaterium</i>	120	60	40
Спорообразующие анаэробные бактерии, <i>Clostridium</i>	61	200	380
Микроскопические грибы, всего	23	49	78
<i>Penicillium</i>	12	26	36
<i>Fusarium</i>	5	7	10
<i>Trichoderma</i>	–	3	4
<i>Mucor</i>	–	5	6
<i>Aspergillus</i>	6	8	12
Актиномицеты, всего	0,5	2,7	3,6
<i>Streptomyces griseus</i>	0,3	0,8	1,1
<i>Streptomyces albus</i>	0,2	0,9	1,2
<i>Streptomyces roseus</i>	–	0,6	0,7
<i>Streptomyces flaveolus</i>	–	0,4	0,6

Для характеристики видового состава микрофлоры почвы использовали показатели, обычно применяемые для оценки сообществ растительных и животных организмов. Анализ видового состава микрофлоры начинается с выделения доминирующих и широко распространенных видов. Принимая во внимание, что сравниваемые популяции микрофлоры почвы имели примерно одинаковые соотношения размеров и характеризовались некоторыми общими чертами их метаболизма, использовался показатель доминирования Симпсона [7], который вычисляется по формуле:

$$C = \sum (n_i)^2 / N, \text{ где}$$

C – показатель доминирования;

n_i – количество штаммов, относящихся к данному роду;

N – общее количество исследуемых штаммов.

Наиболее высоким показателем доминирования выделялся род *Bacillus* (табл. 2).

Таблица 2

Показатели доминирования (C) для микроорганизмов, выделенных из дерново-подзолистой песчаной почвы

Table 2

Dominance indices (C) for microorganisms isolated from sod-podzolic sandy soil

Род микроорганизмов	Фон (контроль)	Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка
<i>Bacillus</i>	0,0959	0,0671
<i>Micrococcus</i>	0,0368	0,0599
<i>Pseudomonas</i>	0,0332	0,0345
<i>Chromobacterium</i>	0,0241	0,0273
<i>Mycobacterium</i>	0,0023	0,0019
<i>Sarcina</i>	0,0012	0,0002

Для микробных ценозов неокультуренной песчаной почвы показатель доминирования рода *Bacillus* был выше, чем для окультуренной почвы. Для неспорообразующих микроорганизмов рода *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium* показатели доминирования в окультуренной почве были выше, чем в неокультуренной. Среди неспорообразующих микроорганизмов доминировали представители рода *Micrococcus* и *Pseudomonas*.

Сравнивая видовой состав гетеротрофных бактерий окультуренной и неокультуренной почв, отмечали общие для них виды. Сходство видового состава определяли по показателю Серенсена [8]:

$$S = 2C/A+B, \text{ где}$$

S – показатель сходства;

A – количество видов, выделенных из окультуренной песчаной почвы;

B – из неокультуренной песчаной почвы;

C – число видов, общих для обеих почв.

Для видового состава бактерий в целом окультуренной песчаной почвы показатель сходства был невысок – 0,49. Это свидетельствует о том, что при торфования и землевании песчаной почвы сформировались качественно новые микробные ценозы, похожие на ценозы неокультуренной песчаной почвы всего лишь на 49 %. Показатели Серенсена для отдельных групп микроорганизмов указывали, что наибольшее сходство видового состава характерно для рода *Bacillus*. Для неспорообразующих бактерий показатели сходства колебались от 0,46 до 0,40 (табл. 3).

Таблица 3

Изменение видового состава бактериальной флоры дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания

Table 3

Changes in the species composition of the bacterial flora of sod-podzolic sandy soil under the influence of peat and land

Род микроорганизмов	Количество видов, выделенных из окультуренной почвы	Количество видов, выделенных из неокультуренной почвы	Количество видов, общих для обеих почв	Показатель сходства	Показатель несходства
<i>Bacillus</i>	7	8	5	0,66	0,34
<i>Micrococcus</i>	8	5	3	0,46	0,54
<i>Pseudomonas</i>	9	4	3	0,46	0,54
<i>Chromobacterium</i>	6	4	2	0,40	0,60

Видовой состав микробных ценозов характеризуется тем, насколько разнообразно представлен в разных почвах. Для оценки этого качества использовался показатель видового разнообразия, вычисленный по формуле [9]:

$$d = S-1 / \log N, \text{ где}$$

S – количество видов в пределах рода или сообщества;

N – количество штаммов, относящихся к этому роду или сообществу.

В условиях окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания показатель видового разнообразия бактериальной флоры возрастал с 19,4 до 30,6. Видовой состав рода *Bacillus* в неокультуренной песчаной почве представлен разнообразнее, чем в окультуренной. Однако неспорообразующие бактерии окультуренной песчаной почвы характеризовались более высоким уровнем видового разнообразия. Следовательно, в процессе торфования и землевания песчаной почвы структура ее микробных ценозов становится динамичнее, что обеспечивает формирование высокого почвенного плодородия.

Применение торфонавозного компоста и суглинка под картофель в дозе 100 т/га повышало содержание органического вещества в дерново-подзолистой песчаной почве с 1,4 до 2,5 % (табл. 4). С увеличением доз вносимого суглинка содержание органического вещества закономерно возрастало и достигало 3,1–3,7 %. На второй год окультуривания песчаной почвы (при возделывании ячменя) содержание органического вещества продолжало оставаться на высоком уровне и составило 3,6–3,9 %. На третий год после проведенного торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы сохранялась наметившаяся тенденция к увеличению содержания органического вещества по всем вариантам опыта. Содержание органического вещества под травами первого года пользования составило 3,0–4,0 % при со-

держании в контроле 1,6 %, что свидетельствует о высокой обеспеченности дерново-подзолистой песчаной почвы органическим веществом. Данная закономерность сохранялась и на пятый год исследований. Так, под травами третьего года пользования в окультуренной почве содержание органического вещества колебалось в пределах 3,4–4,1 %.

Таблица 4

Влияние торфования и землевания на содержание органического вещества в пахотном горизонте песчаной почвы, %

Table 4

The effect of peat and land on the content of organic matter in the arable horizon of sandy soil, %

Вариант	Картофель	Ячмень	Многолетние травы 1-го года	Многолетние травы 2-го года	Многолетние травы 3-го года
Фон (контроль)	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Фон+200 т/га компоста+100 т/га суглинка	2,5	2,8	3,0	3,2	3,4
Фон+200 т/га компоста+200 т/га суглинка	3,1	3,1	3,2	3,5	3,7
Фон+200 т/га компоста+300 т/га суглинка	3,5	3,6	3,7	3,8	4,0
Фон+200 т/га компоста+400 т/га суглинка	3,7	3,9	4,0	4,1	4,1
НСР ₀₅	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09

Предпосылки для увеличения содержания и благоприятного изменения в распределении органического вещества по профилю почвы созданы улучшением всего комплекса факторов, способствующих более интенсивному развитию микробиологических процессов под влиянием торфования и землевания. Создаются благоприятные водно-воздушные условия, содействующие более интенсивному развитию и глубокому проникновению корней вглубь разрыхленного пахотного горизонта и накоплению в нем растительных остатков. Таким образом, усиливаются микробиологические факторы, которые определяют характер почвенных процессов в сторону преобладания дернового.

Торфование и землевание дерново-подзолистой песчаной почвы оптимизирует структуру микробного комплекса, что позволяет за сравнительно короткий срок значительно улучшить ее плодородие и обеспечить получение высокой продуктивности сельскохозяйственных культур.

Анализ полученных данных свидетельствует, что продуктивность пятипольного севооборота в контроле составила 22,89 тыс. к. ед./ га (табл. 5).

Таблица 5

Влияние торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы на продуктивность пятипольного севооборота

Table 5

The effect of peat and land on the content of organic matter in the arable horizon of sandy soil, %

Вариант	Продуктивность культур севооборота, тыс. к. ед. / га			Продуктивность севооборота, тыс. к. ед./га	В среднем за 1 год, тыс. к. ед./га	Прибавка	
	картофель	ячмень	многолетние травы			тыс.к. ед./га	%
Фон (контроль)	3,31	2,16	17,42	22,89	4,58	–	–
Фон+200 т/га компоста + + 100 т/га суглинка	5,59	3,92	20,68	30,19	6,04	1,46	31,9
Фон+200 т/га компоста + + 200 т/га суглинка	6,35	4,52	22,39	33,26	6,65	2,07	45,2
Фон+200 т/га Компоста+ + 300 т/га суглинка	6,80	4,97	25,32	37,09	7,42	2,84	62,0
Фон+200 т/га компоста + + 400 т/га суглинка	7,10	5,18	28,92	41,20	8,24	3,66	79,9

Внесение суглинка в дозе 100 т/га совместно с торфонавозным компостом повышало продуктивность севооборота до 30,2 тыс. к. ед./га, или на 32 %. С увеличением доз вносимого суглинка до 400 т/га продуктивность севооборота закономерно возрастала и достигла максимальной величины – 41,2 тыс. к. ед./га, что было на 80 % больше по сравнению с контролем и обеспечило среднегодовую прибавку на 3,7 тыс. к. ед./га.

Как известно, земледелие является одновременно крупным потребителем энергии и производителем наиболее ценного для человека ее вида – химической энергии, запасенной в продуктах питания и органическом сырье. В этой системе можно определить затраченную и полученную энергию в одних и тех же единицах (калория, джоуль). Такой подход дает возможность количественно оценить продуктивность сельскохозяйственных культур с энергетической точки зрения и определить энергетическую эффективность ее получения.

Для проведения энергетического анализа нами учитывались затраты на производство органических удобрений, их перевозку и внесение, а также уборку и доработку дополнительной продукции. Кроме того, дополнительно определялись затраты энергии на заготовку фрезерного торфа и суглинка, их погрузку, транспортировку и внесение в почву. Энергия, содержащаяся в прибавке урожайности, полученная в результате торфования и землевания песчаной почвы, определялась по энергетическому эквиваленту каждой культуры. Коэффициент энергоотдачи рассчитывался по отношению между энергией, содержащейся в прибавке от органических удобрений, и суглинка, а также энергией, затраченной на их применение. Результаты энергетического анализа окультуривания песчаной почвы представлены в табл. 6.

Таблица 6

Энергетическая оценка торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы в пятипольном севообороте

Table 6

Energy assessment of peat and loam sod-podzolic sandy soil in a five-field crop rotation

Вариант	Прибавка от торфования и землевания, тыс. к.ед/га	Энергия, содержащаяся в прибавке, МДж	Энергозатраты на прибавку, МДж	Удельные энергозатраты, МДж/ц	Энергоотдача (коэффициент)
Контроль (фон)	–	–	–	–	–
Фон+200 т/га компоста+100 т/га суглинка	1,46	23 214	13 981	958	1,7
Фон+200 т/га компоста+200 т/га суглинка	2,07	32 913	20 570	994	1,6
Фон+200 т/га компоста+300 т/га суглинка	2,84	45 156	30 104	1060	1,5
Фон+200 т/га компоста+400 т/га суглинка	3,66	58 194	41 567	1136	1,4

Полученные данные свидетельствуют, что наиболее выгодным, с энергетической точки зрения, является применение торфонавозного компоста совместно с суглинком в дозе 100 т/га. В данном случае энергия, аккумулированная в прибавке урожая, составила 23 214 МДж, а энергозатраты на прибавку – 13 981 МДж, что обеспечило высокую энергоотдачу (коэффициент энергоотдачи – 1,7). С повышением доз вносимого суглинка до 200 т/га, несмотря на увеличение количества энергии, содержащейся в прибавке урожая, наблюдалось возрастание удельных энергозатрат с 958 до 994 МДж, что привело к уменьшению коэффициента энергоотдачи с 1,7 до 1,6. Наиболее низкий вариант энергоотдачи от торфования и землевания выявлен при дозе суглинка 400 т/га. При этом энергозатраты на прибавку урожая составили 41 567 МДж, а удельные энергозатраты – 1136 МДж/ц, в результате чего коэффициент энергоотдачи уменьшился до 1,4. Следовательно, в результате окультуривания песчаной почвы под действием торфования и землевания формируется прибавка урожая сельскохозяйственных культур, в которой запасы аккумулированной химической энергии на 40–70 % превосходят затраты технической энергии, направленной на ее получение. Это свидетельствует о высокой энергетической эффективности окультуривания песчаной почвы путем торфования и землевания.

Заключение

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания повышает содержание органического вещества с 1,4 до 4,1 % и обеспечивает оптимизацию структурной организации микробного комплекса, что проявляется в увеличении показателя видового разнообразия бактериальной флоры с 19,4 до 30,6 %. При этом в условиях окультуренной песчаной почвы формируются качественно новые микробные ценозы, видовой состав которых более чем на 50 % отличается от бактериальных комплексов неокультуренной почвы.

Улучшение микробиологического разнообразия и плодородия дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях торфования и землевания сопровождается повышением продуктивности пятипольного севооборота с 22,9 до 41,2 тыс. к. ед. / га, или на 80 % по сравнению с контролем, что обеспечивает среднегодовую прибавку на уровне 3,7 тыс. к. ед. / га.

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы на основе торфования и землевания характеризуется высокой энергетической эффективностью, так как в результате этого формируется прибавка урожая сельскохозяйственных культур, в которой запасы аккумулированной химической энергии на 40–70 % превосходят затраты технической энергии, направленной на получение этой прибавки.

Библиографические ссылки

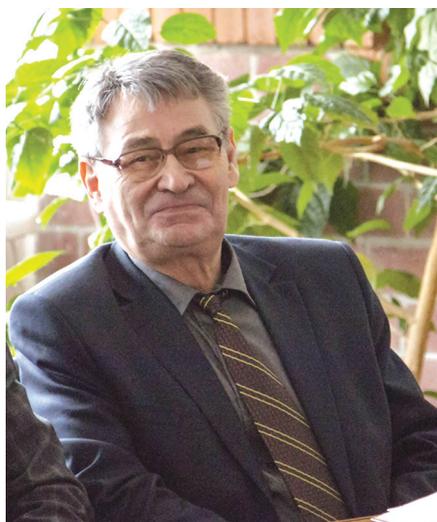
1. Гаевский ЕЕ. Влияние торфонавозного компоста и суглинка на свойства дерново-подзолистой песчаной почвы и урожайность многолетних бобово-злаковых трав. *Земледелие и защита растений*. 2014;3:28–33.
2. Куликов ЯК, Гаевский ЕЕ. Эколого-микробиологическая оценка оптимизации дерново-подзолистой песчаной почвы. *Мелиорация*. 2015;2(74):113–123.
3. Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на ее водно-физические свойства и продуктивность. *Мелиорация*. 2016; 1(75): 90–98.
4. Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на ее микробиологическое разнообразие и биологическую активность. *Экологический вестник*. 2016;2(36):17–25.
5. Асеева ИВ, Бабьева ИП, Бызов БА, Гузев ВС, и др. *Методы почвенной микробиологии и биохимии*. Звягинцев ДГ, редактор. Москва: Издательство Московского государственного университета; 1991. 304 с.
6. Колешко ОИ. *Экология микроорганизмов почвы*. Минск: Белорусский государственный университет; 1981. 168 с.
7. Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*. 1949;163:688–703.
8. Одум Ю. *Основы экологии*. Москва: Мир; 1975. 740 с.
9. Margalef R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University Chicago press; 1968. 112 p.

References

1. Gaevskii EE. *Vliyanie torfonavoznogo komposta i suglinka na svoystva dernovo-podzolistoy pochvy i urozhaynost' mnogoletnikhbobovo-zlakovykh trav* [Influence of peat moss compost and loam on the properties of sod-podzolic sandy soil and the productivity of perennial leguminous-grasses]. *Zemledelie i zashchita rasteniy* [Agriculture and Plant Protection], 2014;3:28–33. Russian.
2. Kulikov YaK, Gaevskii EE. *Ekologo-mikrobiologicheskaja otsenka optimizatsii dernovo-podzolistoy peschanoy pochvy* [Ecological and microbiological assessment of optimization of sod-podzolic sandy soil]. *Melioratsija* [Melioration]. 2015;2(74):113–123. Russian.
3. Gaevskii EE, Kulikov YaK. *Vliyanie okul'turivaniya dernovo-podzolistoy peschanoy pochvy na ee vodno-fizicheskie svoystva i produktivnost'* [The influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil on its water-physical properties and productivity]. *Melioratsija* [Melioration]. 2016;1(75):90–98. Russian.
4. Gaevskii EE, Kulikov YaK. *Vliyanie okul'turivaniya dernovo-podzolistoy peschanoy pochvy na ee mikrobiologicheskoe raznoobrazie i biologicheskuyu aktivnost'* [Influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil on its microbiological diversity and biological activity]. *Ekologicheskij vestnik* [Ecological Bulletin]. 2016;2(36):17–25. Russian.
5. Aseeva IV, Babeva IP, Byzov BA, Guzev VS, et al. *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Zvyagintsev DG, editor. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1991. 304 p. Russian.
6. Koleshko OI. *Ekologija mikroorganizmov pochvy* [Ecology of soil microorganisms]. Minsk: Belarusian State University; 1981. 168 p. Russian.
7. Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*. 1949;163:688–703.
8. Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow: Mir; 1975. 740 p. Russian.
9. Margalef R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University Chicago press; 1968. 112 p.

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

IN MEMORY OF THE SCIENTIST



**Марат Гумерович
ЯСОВЕЕВ**

**Marat Gumerovich
YASOVEEV**

(23.03.1949–19.10.2019)

19 октября 2019 г. ушел из жизни Марат Гумерович Ясовеев – известный ученый-гидрогеолог, лауреат Государственной премии Республики Беларусь, доктор геолого-минералогических наук, профессор, посвятивший свою жизнь изучению региональной гидрогеологии и минеральных вод Беларуси, проблем геоэкологии.

Марат Гумерович Ясовеев родился 23 марта 1949 г. в г. Молодечно, в который отец был направлен восстанавливать разрушенное войной железнодорожное хозяйство. В 1959 г. его переводят в г. Минск, и десятилетний Марат продолжает учебу в школе с геологическим уклоном, что, вероятно, поспособствовало выбору будущей профессии.

В 1966 г. он поступил на геолого-географический факультет Белорусского государственного университета им. В. И. Ленина. Однако группа геологов из 50 человек в 1969 г. была переведена на геологический факультет Киевского государственного университета им. Т. Г. Шевченко. После окончания в 1971 г. университета по специальности «гидрогеология и инженерная геология»

М. Г. Ясовеев три года работал в геологической партии БелГИИЗа. В 1975–1999 гг. он становится научным сотрудником Института геологических наук НАН Беларуси. В 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Гидрогеология и промышленные рассолы Припятского прогиба», а в 1998 г. – докторскую диссертацию «Подземная гидросфера Беларуси (строение, экология, рациональное использование)». За цикл работ по изучению и освоению минеральных вод республики М. Г. Ясовеев с группой соавторов в 1998 г. удостоен звания лауреата Государственной премии Республики Беларусь.

С 1999 по 2003 г. ученый работает заведующим лабораторией геоэкологических проблем на географическом факультете Белорусского государственного университета, с 2003 по 2006 г. – деканом факультета естествознания Белорусского государственного педагогического университета им. Максима Танка (БГПУ). До 2016 г. М. Г. Ясовеев заведовал кафедрой экономической географии и охраны природы БГПУ, где преподавал учебные дисциплины: «Экология урбанизирован-

ных территорий», «Методика геоэкологических исследований», «Основы геоэкологии», «Общая геология», «Экологическая экспертиза и экологический мониторинг», «Занимательная геология».

С 2016 г. трудовая деятельность Марата Гумеровича связана с Международным государственным экологическим институтом им. А. Д. Сахарова БГУ, в котором он вначале работал в должности профессора кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики, а в 2018 г. был назначен деканом факультета экологической медицины. Позже по состоянию здоровья он перешел на должность профессора кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики, а со 2 сентября по 19 октября 2019 г. Марат Гумерович работал профессором кафедры экологического мониторинга и менеджмента факультета мониторинга окружающей среды.

В сферу научных интересов М. Г. Ясовеева входили проблемы общей и региональной гидрогеологии, минеральные воды, охрана природы и мониторинг окружающей среды, геоэкологические проблемы техногенеза, экологическое образование, туризм и рекреация, рациональное природопользование, а также вопросы педагогики

(участвовал в разработке концепции многоуровневого непрерывного экологического образования в Республике Беларусь).

Большое внимание он уделял воспитанию молодых ученых. Им подготовлено 5 кандидатов наук и более 30 магистрантов. Многие годы М. Г. Ясовеев был экспертом в Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь.

Результаты научной деятельности Марата Гумеровича широко известны и признаны научной общественностью. Он является автором более 500 научных публикаций, в том числе 28 монографий, 30 учебников, учебных и учебно-методических пособий, многие из которых опубликованы как в Республике Беларусь, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья (России, Украины, Прибалтики, США, Германии).

Уход из жизни Марата Гумеровича Ясовеева – невосполнимая потеря для отечественного образования и науки.

Коллеги, соратники и друзья приносят искренние соболезнования последователям и ученикам Марата Гумеровича, его родным и близким, разделяя скорбь и тяжесть утраты этого удивительного человека, крупного ученого.

*Коллектив Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова БГУ,
редколлегия журнала Белорусского государственного университета ЭКОЛОГИЯ*

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

- Маскевич С. А., Мишаткина Т. В., Фалько В. И.* Экологическая этика в системе образования для устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации 4
- Астабацян Т. М.* Экологическая ситуация в Республике Армения: основные проблемы, неблагоприятные регионы, источники загрязнения 15

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

- Гоций Н. Д.* Влияние лиан рода *Parthenocissus* Planch. на температурный и влажностный режим подпологового пространства 20
- Сахвон В. В.* Динамика видового богатства гнездящихся птиц урбоэкосистем в долготном градиенте 29
- Тюлькова Е. Г.* Ингибирующий эффект летучих органических соединений на содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений 36
- Чернецкая А. Г., Бученков И. Э.* Зависимость проникновения американской мучнистой росы (*Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. et Gurt.) от некоторых структур пассивного иммунитета смородины черной (*Ribes nigrum* L.). 45

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Гулаков А. В., Дроздов Д. Н.* Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированного ¹³⁷Cs в мышечной ткани европейской косули, обитающей на территории радиоактивного загрязнения 55
- Трухоновец В. В., Кадукова Е. М., Велякина Н. Н., Сушко С. Н., Пучкова Т. А., Бисько Н. А., Шаховская О. В., Козлов А. Е., Медведева Е. А., Колодий Т. А.* Интродукция лекарственного гриба *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst. в культуру и перспективы его практического использования в условиях радиоактивного загрязнения 62

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Бакунович А. В., Зинченко А. И., Буланова К. Я.* Особенности влияния АТФ и диаденозин тетрафосфата на АДФ-индуцированную агрегацию тромбоцитов при преэклампсии 71
- Порада Н. Е., Живицкая Е. П., Васюкевич Е. Н.* Последствия алкоголизма, обусловленные социально-экономическими факторами 80

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Баран А. Н., Пащинский В. А., Липницкий Л. А.* Светодиодные источники света и их влияние на питающую сеть 91
- Гаевский Е. Е., Куликов Я. К.* Микробиологическая и энергетическая оценка окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания 100

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

- Марат Гумерович Ясовеев (23.03.1949–19.10.2019) 108

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Maskevich S. A., Mishatkina T. V., Falko V. I.</i> Environmental ethics in the education system for sustainable development of the Republic Belarus and the Russian Federation	4
<i>Astabacyan T. M.</i> Ecological situation of the Republic of Armenia: main problems, unfavorable regions, sources of pollution	15

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Hotsii N. D.</i> The influence of the <i>Parthenocissus</i> Planch. genus on temperature and moisture conditions of the space under the canopy and support.....	20
<i>Sakhvon V. V.</i> Longitude patterns in breeding bird species richness in cities.....	29
<i>Tulkova E. G.</i> Volatile organic compounds inhibiting effect on the photosynthetic pigments content in woody plants seedlings leaves	36
<i>Chernetskaya A. G., Buchenkov I. E.</i> Dependence of penetration of american powdery mildew (<i>Sphaerotheca mors-uvae</i> (Schwein.) Berk. et Gurt.) on some structures of passive immunity of black currant (<i>Ribes nigrum</i> L.).....	45

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Gulakov A. V., Drozdov D. N.</i> Internal exposure dose rate from incorporated ¹³⁷ Cs in the muscular tissue of european roe deer, living in the territory of radioactive contamination	55
<i>Trukhanavets V. V., Kadukova A. M., Veyalkina N. N., Sushko S. N., Puchkova T. A., Bisko N. A., Shahovskaya O. V., Kozlov A. E., Miadzvedzeva A. A., Kolody T. A.</i> Introduction of the medicinal mushroom <i>Ganoderma lucidum</i> (Curt.: Fr.) P. Karst. in culture and prospects of its practical use in the radioactive pollution conditions.....	62

MEDICAL ECOLOGY

<i>Bakunovich A. V., Zinchenka A. I., Bulanava K. Ya.</i> Features of the ATP and diadenosine tetraphosphate effect on ADP-induced platelet aggregation at pre-eclampsia	71
<i>Porada N. E., Zhyvitskaya E. P., Vasyukevich E. N.</i> The consequences of alcoholism caused by socio-economic factors	80

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Baran A. N., Pashinski V. A., Lipnizki L. A.</i> LED light sources and their tract on the supply network	91
<i>Gaevskii E. E., Kulikov Ya. K.</i> Microbiological and energy assessment of cultivation of sod-podzolic sand soil under the action of peat and loam	100

IN MEMORY OF THE SCIENTIST

Marat Gumerovich Yasoveev (23.03.1949–19.10.2019).....	108
--------------------------------------------------------	-----

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.
№ 4. 2019**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

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

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

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: jecology@bsu.by

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

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

Подписано в печать 10.12.2019.
Тираж 100 экз. Заказ 518.

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

© БГУ, 2019

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 4. 2019**

Founder:
Belarusian State University

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

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

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

E-mail: jecology@bsu.by

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

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

Signed print 10.12.2019.
Edition 100 copies. Order number 518.

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

© BSU, 2019