



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

2

2019

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **POZNYAK S. S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Executive secretary** **LYSUKHA N. A.**, PhD (engineering), Associate Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: nlysukha@mail.ru
-
- 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 378(47)

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ И ПОНЯТИЙ

А. В. КОРОТКЕВИЧ¹⁾, В. Н. ЛУЧИНА¹⁾

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

Кризис мировой техногенной цивилизации требует адекватного ответа в виде принятия новых философских и образовательных парадигм. В глобальной системе образования необходимы изменения для удовлетворения новых и разнообразных нужд человечества. Реформа образовательной системы в Республике Беларусь, как и во всем мире, связана с применением компетентностного подхода с его практической направленностью и ориентацией на конечный результат, что даст возможность сформировать личность, способную к бесконфликтному сосуществованию с окружающей природной и социальной средой. Понимая компетенции как знания, умения и опыт, необходимые для решения теоретических и практических задач, мы придаем большое значение определению их границ, которые принято называть универсальными (ключевыми). Сформированные универсальные компетенции являются качествами, в наибольшей степени соответствующими целям устойчивого развития, поскольку помогают в сложной проблемной ситуации спрогнозировать ее развитие, а также в условиях правового поля сформировать стратегию выхода из нее в устойчивое будущее.

Образец цитирования:

Короткевич АВ, Лучина ВН. Универсальные компетенции для устойчивого развития: определение границ и понятий. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:4–12.

For citation:

Karatkevich AA, Luchina VN. Universal competences for sustainable development: defining boundaries and concepts. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:4–12. Russian.

Авторы:

Анна Вячеславовна Короткевич – старший преподаватель кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

Виктория Николаевна Лучина – старший преподаватель кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

Authors:

Anna V. Karatkevich, senior lecturer at the department of social-humanitarian sciences and sustainable development.

aivakina7070@mail.ru

Viktoriya N. Luchina, senior lecturer at the department of social-humanitarian sciences and sustainable development.

luchina-v@mail.ru

Ключевые слова: высшее образование; устойчивое развитие; компетентностный подход; компетенции; компетентность; ключевые компетенции; универсальные компетенции; компетенции межличностного взаимодействия; правовые компетенции; экологические компетенции.

UNIVERSAL COMPETENCES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: DEFINING BOUNDARIES AND CONCEPTS

A. V. KARATKEVICH^a, V. N. LUCHINA^a

^a*International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Dauhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: aivakina7070@mail.ru*

The crisis of the world technogenic civilization requires an adequate response in the form of the adoption of new philosophical and educational paradigms. Changes are needed in the global education system to meet the new and diverse needs of humanity. The reform of the educational system in the Republic of Belarus, as well as throughout the world, is associated with the use of a competency-based approach. Competence-based approach with its practical orientation and focus on the final result, is able to form a personality capable of conflict-free coexistence with the surrounding natural and social environment. Understanding the competencies as knowledge, skills and experience necessary to solve theoretical and practical problems, we attach great importance to the definition of the boundaries and content of competences, which are commonly called universal, or key. The formed universal competences are the qualities most relevant to the goals of sustainable development, since they contribute in the difficult problem situation to predict its development, and in the legal field to form a strategy for getting out of it into a sustainable future.

Key words: higher education; sustainable development; competence-based approach; competencies; competence; core competencies; universal competences; interpersonal interaction competencies; legal competencies; environmental competence.

Введение

Образование для устойчивого развития – образование будущего. Последние полстолетия мировая цивилизация существует в условиях периодически повторяющихся обострений глобального эколого-экономического кризиса, истоки и причины которого кроются в недрах технократической модели развития. Российский академик Н. Н. Моисеев во второй половине XX в. отмечал, что сегодня необходима новая цивилизация, отличная от технократической, «с иным миропредставлением, с иным мышлением, с иными социальными установками, с иной структурой потребностей» [1]. В целях ее построения предстоит выработать новые правила жизни, «качественно изменить природу общества». Для изменения основ современной цивилизации нужно начать с изменения характера формирования общественного сознания. В этой связи особое внимание должно быть уделено принятию новых философских и образовательных парадигм. В глобальной системе образования необходимы радикальные изменения для удовлетворения новых и разнообразных нужд человечества. Ускорение темпов цивилизационных процессов, экологические проблемы, экспоненциальный рост информации, широкое внедрение наукоемких и информационных технологий как тенденций мирового развития – все это не может не оказывать влияния на состояние и развитие образования. Новое образование, соответствующее изменившимся условиям жизнедеятельности и возросшей скорости протекания общественных процессов, должно восстановить оптимальное соотношение уровня сложности человека и общества.

Организация Объединенных Наций (ООН) объявила 2005–2015 гг. декадой образования для устойчивого развития. Многие страны заявили о своих намерениях провести реформы образовательных систем, подчеркивая их значимость. Несмотря на то что само по себе образование не может обеспечить устойчивость, оно, очевидно, является одним из ключевых инструментов переустройства общества, поэтому его развитию должно быть уделено максимальное внимание.

Целью нового образования должно стать формирование у молодежи «грамотности в отношении будущего» (futures literacy) – способности противостоять сложности и неопределенности для динамического участия в будущем, с которым нам предстоит столкнуться. Если образование – это контракт между обществом и будущим, то сейчас необходим новый вариант, который больше не будет предназначен для подготовки молодежи к будущему, не копируя во многом прошлое. Согласно основным положениям Глобальной программы действий по образованию в интересах устойчивого развития (2014) – это «обра-

зование, которое позволяет каждому человеку приобретать знания, навыки, ценности и подходы, расширяющие его права и возможности для внесения вклада в устойчивое развитие, принятия компетентных решений и осуществления ответственных действий во имя обеспечения целостности окружающей среды, экономической целесообразности и справедливого общества для нынешнего и будущих поколений» [2]. Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. предусматривается решение задач в сфере образования, в частности, «формирование личности с системным мировоззрением, критическим, социально и экологически ориентированным мышлением и активной гражданской позицией» [3]. Образование, прежде всего высшее, должно дать возможность выпускнику быть не просто хорошим специалистом в избранной области деятельности, но и активным, ответственным членом общества, способным действовать в различных, в том числе и реальных проблемных ситуациях. Это предполагает умение самостоятельно приобретать новые знания, обладать выраженной способностью к самоорганизации, навыками принятия решений в нестандартных ситуациях и т. д.

Современная экономическая и экологическая ситуация требует от выпускника учреждения высшего образования самостоятельной оценки тех управленческих решений, которые принимаются в обществе, сформированности чувства социальной ответственности в отношении значимых для общества проблем. После получения образования он должен иметь устойчивый экологический императив сознания, а также умение взаимодействовать с другими людьми и окружающей средой, не нанося им ущерба, но и не забывая о собственных интересах.

Компетентностный подход как залог успеха модернизации высшего образования. На наш взгляд, доказательство успеха реформирования системы образования в интересах устойчивого развития – обращение к **компетентностному** подходу. Он делает процесс обучения более гибким, конкретизирует цели обучения, этапы достижения целей и обеспечивает адекватность оценки результатов. При применении компетентностного подхода конечной целью обучения является освоение таких форм поведения, приобретение такого набора знаний, умений и личностных характеристик, позволяющих молодому человеку успешно осуществлять любую деятельность, которой он планирует заниматься. Следовательно, после завершения обучения он должен мочь и хотеть делать то, ради чего учился долгие годы. Подготовка студентов, таким образом, должна переориентироваться с решения задач узкопрофессиональных на задачи, имеющие обобщенный (межпредметный) характер. В процессе образования необходимо помочь студенту стать потенциально компетентным не только в избранной профессии, но и в любом виде деятельности, с которым он может столкнуться в жизни.

Компетентностный подход в образовании с его практической направленностью и ориентацией на конечный результат призван сформировать личность, способную к бесконфликтному сосуществованию с окружающей природной и социальной средой. В его основе лежит возможность сместить акценты в образовательном процессе с получения некой совокупности знаний на способность выполнять определенные функции, используя эти знания. Он должен сыграть существенную роль в подготовке будущих специалистов в разных областях деятельности, в том числе и грамотных природопользователей, способствовать осознанию ими проблем окружающей среды, установлению рационального и бережного отношения к ней.

Применение компетентностного подхода в образовании исключает формальный характер применения полученных специальных знаний. Это предоставит возможность использовать их для успешного решения и исполнения гражданских и социально-профессиональных функций, реализуя цели устойчивого развития.

Современная систематизация компетенций. Компетентностный подход был реализован в стандартах высшего образования, принятых в Республике Беларусь, второго (2008 г.) и третьего (2014 г.) поколений. В мае 2015 г. наша республика официально присоединилась к Болонскому процессу, тем самым определив стратегию реформ системы высшего образования, в которой компетентностный подход должен стать обязательным условием их осуществления.

В Образовательном стандарте высшего образования первой ступени второго поколения компетентностный подход был представлен на терминологическом уровне, в виде общих характеристик и требований. В нем учитывался принцип и опыт Болонского процесса, в частности, проекта TUNING как образовательного инструмента, созданного для гармонизации национальных концепций высшего образования с единым образовательным пространством. Следует отметить, что здесь даны четкие определения основных понятий: *компетенция* – знания, умения и опыт, необходимые для решения теоретических и практических задач; *компетентность* – выраженная способность применять свои знания и умения. Компетентность развивается и формируется при взаимодействии знаний, способностей, навыков, мотивации и эмоциональной предрасположенности. Результатом и критерием качества высшего образования

должны стать сформированные социально-профессиональные компетенции. Таким образом, *профессиональные и социально-личностные компетенции* составляют духовно-нравственную основу личности [4].

Компетентностный подход – отличительная особенность стандартов третьего поколения. При этом приоритетными остаются наши национальные интересы. В результате операционализации компетентностного подхода в белорусских стандартах высшего образования, принятых в 2014 г., были сформированы три группы компетенций:

- *академические*, включающие знания и умения по изучаемым дисциплинам (способность учиться);
- *социально-личностные*, включающие культурно-ценностные ориентации (знание нравственных ценностей и умение им следовать);
- *профессиональные*, включающие способность решать задачи, разрабатывать планы и обеспечивать их выполнение в избранной сфере профессиональной деятельности [5].

На сегодняшний день многообразие в определении понятия, содержания, классификации компетенций является нормой в мировом педагогическом сообществе, что предоставляет возможным системам образования максимально ориентироваться на местные региональные и профессиональные потребности.

По мнению И. А. Зимней, наиболее авторитетного исследователя в области компетентностного подхода в Российской Федерации, компетенции – это «интегрированные характеристики качеств личности, позволяющие осуществлять деятельность в соответствии с профессиональными и социальными требованиями, а также личностными ожиданиями» [5, с. 43].

Профессор А. В. Макаров, который активно занимается внедрением компетентностного подхода в Республике Беларусь, определяет компетенции как знания, умения, опыт и личностные качества, необходимые для решения теоретических и практических задач [6, с. 6]. Он предлагает алгоритм операционализации компетентностного подхода с целью его реализации в конкретных учреждениях высшего образования. По его мнению, каждое учреждение высшего образования (УВО) должно создавать учебно-воспитательную среду и вырабатывать свои механизмы по формированию компетентностной модели и конкретных компетенций своих выпускников [6, с. 7]. Однако в отечественной педагогике, несмотря на пристальное внимание к этому вопросу, отсутствует единство в понимании и определении тех знаний, умений, навыков, способностей, которые необходимо развивать, равно как и измерение уровней сформированности компетенций.

В частности, сегодня в педагогическом сообществе Республики Беларусь нет единства в области четкого понимания и разграничения понятия «универсальные компетенции». На наш взгляд, именно сформированные универсальные компетенции являются качествами, в наибольшей степени соответствующими целям устойчивого развития.

В педагогической литературе, издаваемой в Российской Федерации, часто используется термин *ключевые компетенции*. Из них наиболее часто выделяются следующие:

- социальные, обеспечивающие ценностно-смысловую направленность личности, сформированность гражданской, валеологической и психолого-педагогической грамотности и культуры, способность к социальному взаимодействию;
- профессиональные, связанные с овладением проективно-рефлексивными умениями;
- коммуникативные, включающие культуру речевого поведения, языковую грамотность и способность к продуктивному общению;
- информационные, связанные с поиском, хранением, обработкой, представлением информации, владением компьютерной грамотностью и информационными технологиями;
- образовательные (академические), обеспечивающие способность и готовность к самостоятельной познавательной работе, постоянному самообразованию и самосовершенствованию, профессиональному росту [7].

Для сравнения приведем принятое Советом Европы определение пяти ключевых компетенций, которыми должны владеть молодые европейцы: политические и социальные компетенции (способность принимать ответственность, участвовать в принятии групповых решений, разрешать конфликты ненасильственно, участвовать в поддержании и улучшении демократических институтов); компетенции, связанные с жизнью в многокультурном обществе; компетенции, связанные с владением устной и письменной коммуникацией; компетенции, связанные с возрастанием информатизации общества; способность учиться на протяжении жизни [8].

Белорусский исследователь в области компетентностного подхода О. Л. Жук выделяет несколько видов компетенций: *специальные* (предметные), определяющие владение собственно профессиональной деятельностью; *общепрофессиональные* (общепредметные), связанные с несколькими предметными областями или видами профессиональной деятельности, которыми должен овладеть выпускник в рамках

своей профессии; *ключевые* (универсальные), способствующие эффективному решению разнообразных задач из многих областей и выполнению социально-профессиональных ролей и функций на основе единства обобщенных знаний и умений, универсальных способностей [9].

Определение границ и уточнение содержания понятий универсальных компетенций. Компетенции, которые являются наиболее обобщенными по характеру и степени применимости, а также, по нашему мнению, самым общим и широким определением адекватного проявления социальных качеств человека в современном обществе, в значительной мере совпадают по содержанию с социальными или социально-личностными компетенциями. Они формируют социально-личностную компетентность, которая позволяет человеку адекватно и быстро адаптироваться в обществе и эффективно взаимодействовать с социальным окружением, результативно разрешать проблемы в социальной и природной среде. Компетенции, которые служат цели обеспечения способности человека к действию в личных, профессиональных и социальных ситуациях посредством успешных адекватных поступков, лежат в основе социальной адаптации и включают в свой состав ясное понимание социальной действительности. Они в наибольшей степени соответствуют, по нашему мнению, компетенциям, необходимым для достижения целей устойчивого развития. Эти компетенции могут быть названы *универсальными*, поскольку их наличие демонстрирует не столько формальный уровень образования, сколько ценностную ориентацию личности, имеющуюся способность и желание преобразовывать действительность.

Учитывая вышеизложенное, а также приведенные классификации компетенций для достижения целей устойчивого развития, мы выделяем как наиболее значимые следующие *универсальные компетенции*:

- межличностное взаимодействие и коммуникации молодого специалиста;
- непрерывное самообразование и профессиональное совершенствование;
- самосовершенствование и саморегулирование;
- гражданственность и правовые компетенции;
- экологические компетенции.

В содержание этих компетенций входят определенные качества, которые можно развивать в процессе обучения, и сформированность которых поддается диагностированию. Уровень сформированности универсальных компетенций проявляется в сфере жизнедеятельности на всем социокультурном пространстве, где происходит взаимодействие, сотрудничество, организация процессов социального партнерства, совместной деятельности будущего специалиста с социальными институтами образования, здравоохранения, культуры, спорта и семьи.

К компетенциям *межличностного взаимодействия* относятся: умение действовать в конфликтной ситуации, сотрудничать, проявлять толерантность, умение работать в команде и управления коллективом. Для их формирования необходимо овладение знаниями ролевых требований и ролевых ожиданий, предъявляемых в обществе к представителям того или иного социального статуса, опытом ролевого поведения, ориентированного на тот или иной социальный статус; овладение знаниями национальных и общечеловеческих норм и ценностей, а также норм (привычек, обычаев, традиций, нравов, законов и т. п.) в различных сферах и областях социальной жизни – политической, духовной и др.; овладение знаниями об устройстве и функционировании социальных институтов в обществе, социальных структурах; о различных социальных процессах, протекающих в обществе. Компетенции межличностного взаимодействия связаны с восприятием себя как социального субъекта, владением средствами вербальной и невербальной коммуникации, взаимопониманием в процессе общения с представителями разных культур, знанием и соблюдением традиций и ритуалов, этикетных правил, эмпатией (способностью к сопереживанию), социальной чуткостью, умением держать ролевую дистанцию, терпимостью к чужому мнению.

Отсутствие сформированных компетенций межличностного взаимопонимания и коммуникаций выпускников влияет на их профессиональную пригодность. Многие молодые специалисты, успешно закончившие УВО, не владеют навыками взаимодействия с коллективом и партнерами, а также правилами сотрудничества, не могут быть толерантными к окружающим. Готовность к взаимоотношениям с другими людьми, умение находить рациональные решения в конфликтных ситуациях у большинства выпускников находятся сегодня на низкой стадии сформированности. Многие из них не мотивированы на приобретение навыков социального взаимодействия с окружающими, на установление бесконфликтных производственных отношений. Поэтому в начале трудовой деятельности у молодых специалистов возникает большое количество деструктивных конфликтов с коллегами по работе, ими часто испытывается ощущение социальной изоляции. Отсюда следует необходимость изменять педагогические подходы, внедрять новые формы и методы обучения для формирования межличностных компетенций.

Компетенции *непрерывного самообразования и профессионального самосовершенствования* – это повышение своей профессиональной компетентности, развитие профессионально значимых качеств

в соответствии с внешними требованиями, условиями деятельности и личной программой развития. К ним относятся умение заниматься исследовательской деятельностью, наличие независимой позиции и способности к творчеству, а также обладание навыками в области информационных технологий. Вышеназванные компетенции связаны с умением мыслить и принимать решения, в том числе и в нестандартных ситуациях. Они предполагают структурирование знаний, их ситуативно-адекватную актуализацию, расширение приращения накопленных знаний. Сформированные компетенции самообразования и профессионального самосовершенствования побуждают к творческим проявлениям, открытости, самоограничению, альтруизму, сохранению профессионально-ролевой дистанции. Эти качества способствуют стремлению к кооперации с другими людьми как к объединяющему средству, которое позволяет концентрировать материальные и интеллектуальные силы для достижения успеха, формируют готовность к сотрудничеству в будущей профессиональной деятельности.

Компетенции *самосовершенствования и саморегулирования* – это предрасположенность к самосовершенствованию, развитию личностной и предметной рефлексии, языковому и речевому развитию, овладению культурой родной речи и знаниями иностранных языков; стремление к овладению знаниями и представлениями человека о себе, своем здоровье и здоровом образе жизни; знание и соблюдение норм здорового образа жизни, знание опасности курения, алкоголизма, наркомании, СПИДа; знание и соблюдение правил личной гигиены, обихода, физической культуры человека, понимание свободы и ответственности выбора образа жизни. Эти компетенции обусловлены ценностно-смысловой ориентацией личности (представления о ценности бытия, жизни): знание ценностей мировой культуры (живописи, литературы, театра и киноискусства, музыки и науки); знание истории цивилизаций и собственной страны; знание основ религии.

Компетенции *гражданственности и правовые компетенции* – это знание и соблюдение прав и обязанностей гражданина (свобода и ответственность, уверенность в себе, собственное достоинство, гражданский долг); знание и гордость за символы государства (герб, флаг, гимн); знание основ государственности, правовых основ деятельности молодого специалиста. Правовая компетентность выпускника образует ядро его адекватного поведения в социуме, в профессиональной среде, она должна быть присуща представителям молодого поколения современной Республики Беларусь. Под правовой компетентностью выпускника, с утилитарной точки зрения, следует понимать определенный уровень знаний текущего белорусского законодательства, предметом которого является молодежная проблематика, а также умения применять их в повседневной практике. Уровень зрелости правовой компетентности определяется активностью обучаемого при освоении необходимых знаний и умений, в формировании собственной личностной и профессиональной позиции, а также в приобретении опыта и применении его в профессиональной сфере. Чем активнее обучаемый изучает теоретический материал, участвует в различных видах практической правовой деятельности, тем выше его личностная и профессиональная самооценка, тем увереннее он в своих силах.

Совокупность всех видов учебно-практической деятельности будущего специалиста позволяет повысить уровень правовой и профессиональной подготовки в целом и степень адекватности самооценки в частности. С точки зрения компетентностного подхода, правовое воспитание можно рассматривать как средство формирования ценностно-мотивационного компонента правовой компетенции специалиста. Но нельзя правовое образование представить как два параллельно протекающих процесса – правовое обучение и правовое воспитание. Нельзя студентов сначала учить, а потом воспитывать. Очевидно, что это необходимо делать во взаимосвязи и взаимопроникновении. Правовое образование можно представить как систему обучения, направленную на формирование у обучающегося правовых знаний, умений и навыков в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов. Правовое образование способствует воспитанию у студента готовности и способности применить эти знания и умения в повседневной жизни. В правовом демократическом государстве субъективные права человека и гражданина должны сочетаться с объективным порядком государственной деятельности. Такая согласованность невозможна без обладания гражданами определенным объемом правовых знаний и умений.

Жизнь в правовом государстве немыслима без знания законов, отражающих интересы общества, дозволенного и запрещенного в интересах общества поведения [10]. Гражданин должен быть мотивирован на нормативное поведение, поэтому необходимо формировать способность к правомерному использованию предоставленных законом субъективных прав и обязанностей. Добиться этого возможно только при сформированности у гражданина правовой компетентности, одним из факторов которой является правовое образование как составная часть общего, профессионального и высшего образования, в ходе которого реализуется конституционное право на образование.

Экологические компетенции – это владение знаниями, практическими умениями и навыками деятельности в рамках экологического императива, творческий опыт разрешения конфликтных экологических

ситуаций, ценностное отношение к окружающему миру, осознанное и экологически обоснованное регулирование природопользования. Экологические компетенции включают в себя необходимый уровень знаний об основных экологических проблемах современности, понимание сущности природных пределов современного социально-экономического развития и причин экологического кризиса; способность оценивать результаты и последствия своей деятельности с точки зрения биосферной совместимости, нанесения или минимизации вреда природе; обладание навыками природосообразной деятельности и поведения; способность эмоционально воспринимать угрозу разрушения природной среды, проявлять волю к ее защите и охране; обладание потребностью деятельности в сфере экологии и природопользования, совмещенной с необходимостью общения с природой, нахождением в естественных ландшафтах [11].

Сформированные экологические компетенции позволяют в лице выпускника получить экологически ориентированную личность, способную применять знания, умения и навыки, а также личностные качества для решения задач профессиональной деятельности, социального участия и достижения личного успеха в рамках устойчивого развития. Для формирования экологически ориентированной личности необходимо накопление знаний о системе взаимоотношений человека с окружающей средой, а также включение экологических дисциплин во все образовательные программы высшей школы.

В докладе Римскому клубу 2017 г. «Come On! Капитализм, близорукость, население и разрушение планеты» обосновывается в изменившихся условиях развития технократической цивилизации новая стратегия выхода из кризиса, включая изменение философских и образовательных парадигм. Авторы доклада дают понять, что мир находится в опасности, и его спасение лежит (в том числе) в изменении характера современного образования [12]. Ожидается не просто реформа системы, а радикальная переориентация содержания образования и педагогики, что должно включать в себя, помимо передачи знаний, полученных на основе прошлого опыта, расширение знаний, навыков и возможностей, которые потребуются для адаптации и творческого реагирования на то будущее, которое еще только предусматривается.

По мнению авторов доклада, образование должно способствовать устойчивому развитию. Пока оно еще не «сфокусировано на устойчивости», поскольку большая часть знаний, касающаяся экологии, взаимосвязанности систем и устойчивого развития, появилась недавно и не стала частью общего культурного багажа. Таким образом, обучение поколений соответствующим дисциплинам имеет принципиальное значение [12]. Необходимо включать обозначенные вопросы в учебные программы на всех уровнях; создавать такие условия для обучения, чтобы студенты находили глобальные проблемы и перспективы для их решения, размышляли о них. В образовательных программах должна быть учтена роль этики и ценностей в формировании управленческих и экономических решений.

В процессе формирования экологических компетенций необходимо достижение установленных норм и образцов поведения человека во взаимодействии с окружающей средой в своей ежедневной занятости, создание канонического экологического поведения. В условиях неопределенного будущего решение экологических проблем становится плановой работой по рефлексивному управлению человеческой деятельностью с целью выработки и реализации решений, которые будут устраивать все заинтересованные стороны.

Заключение

Таким образом, мы пришли к выводу, что в совокупности вышеперечисленные универсальные компетенции образуют социально-личностную компетентность, которую можно трактовать как интегративное личностное образование, включающее в себя знания, умения, навыки и способности, формирующиеся в процессе социализации, что позволяет человеку адекватно и быстро адаптироваться в обществе, эффективно взаимодействовать с социальным окружением, результативно разрешать проблемы в социальной и природной среде [14]. Они включают в себя не столько формальный уровень образования, но и ценностно-смысловую направленность личности, сформированность гражданской позиции, а также способность к социальному взаимодействию; служат цели обеспечения способности человека к действию в личных, профессиональных и социальных ситуациях посредством успешных адекватных поступков, требуемых в конкретных ситуациях и ожидаемых со стороны социума.

Итак, когда конечной целью обучения должно стать освоение форм поведения, приобретение такого набора знаний, умений и личностных характеристик, которые позволят молодому человеку успешно осуществлять любую деятельность, которой он планирует заниматься, именно сформированность универсальных компетенций выходит на первый план среди целей обучения. Подготовка молодых специалистов должна переориентироваться с решения узкопрофессиональных задач на такие, которые имеют обобщенный (межпредметный) характер. Приобретение выпускниками УВО универсальных компетенций, определяющихся как совокупность знаний и умений по социально-гуманитарным и естественным

дисциплинам, как овладение определенными формами поведения и индивидуальными характеристиками, значительно повышает шансы на успех в любой сфере деятельности, независимо от ее конкретной специфики.

Сформированные универсальные компетенции обеспечат то направление образования, о котором говорилось ранее: образования, которое позволит каждому человеку приобретать знания, навыки, ценности и подходы, расширяющие его права и возможности для внесения вклада в устойчивое развитие, принятия компетентных решений и осуществления ответственных действий во имя обеспечения целостности окружающей среды, экономической целесообразности и справедливого общества для нынешнего и будущих поколений. Такой характер образования позволит знание экологических норм взаимодействия с природой перевести в плоскость личностного отношения, превратив благие намерения в конкретную программу, направленную на охрану природных ресурсов и снижение уровня потребления.

Сформированные универсальные компетенции могут позволить в сложной проблемной ситуации спрогнозировать ее развитие, а в условиях правового поля сформировать стратегию выхода из нее в устойчивое будущее. Тогда будет реализован принцип устойчивости, зафиксированный в НСУР–2030 Республики Беларусь: «Человек – цель прогресса; уровень человеческого развития – мера зрелости общества, государства, его социально-экономической политики» [3]. Следовательно, чем шире и содержательнее сфера образования, доступ к участию граждан для решения экономических, социальных и экологических проблем республики, тем эффективнее будет осуществляться устойчивое развитие в нашей стране.

Библиографические ссылки

1. Моисеев НН. Новая планета. В: *Мировое сообщество и судьба России*. Москва: МНЭПУ; 1997. 272 с.
2. Стратегия образования в интересах устойчивого развития. *Материалы 57-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН*. 2005 [Интернет]. [Прочитано 15 марта 2019]. Доступно по: http://www.un.org/ru/ga/second/57/second_res.shtml.
3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. [Интернет]. [Прочитано 15 марта 2019]. Минск, 2015. Доступно по: <http://srrb.niks.by/program.pdf>.
4. Макет образовательного стандарта высшего образования первой ступени. [Интернет]. [Прочитано 15 марта 2019]. Минск, 2013. Доступно по: <http://www.nihe.bsu.by/index.php/ru/norm-doc>.
5. Зимняя ИА. *Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании*. Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов; 2004. 122 с.
6. Макаров АВ. Компетентностно-ориентированные модели подготовки выпускников учреждений высшего образования: болонский контекст. *Высшая школа*. 2015;5:3–8.
7. Пересыпкин АА. Компетентностный подход в высшей школе. Белорусский контекст. В: *Нові технології навчання. Науково-методичні збірник*. Київ; Вінниця: [б.и.]; 2011; Випуск 67(2). с. 170–175.
8. Байденко ВИ, редактор. Болонский процесс: поиск общности Европейских систем высшего образования (проект TUNING). [Интернет]. [Прочитано 15 марта 2019]. Москва; 2006. Доступно по: http://yspu.org/trn_level_edu/7/tuning1.pdf.
9. Жук ОЛ. Компетентностный подход в стандартах высшего образования по циклу социально-гуманитарных дисциплин. В: Макаров АВ, редактор *Научно-методические инновации в высшей школе*. Минск: РИВШ; 2008. с. 28–38.
10. Козлова ЕИ, Кутафин ОЕ. *Конституционное право России*. 3-е издание. Москва: ЮРИСТЪ; 2003. 585 с.
11. Орешкина ТА. Экологические компетенции в структуре образовательных программ высшей школы. *Вестник Института социологии*. 2017;23:113–123.
12. «ComeOn! Капитализм, близорукость, население и разрушение планеты». 2017. [Интернет]. [Прочитано 10 апреля 2019]. Доступно по: https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Weizsacker_Wijkman_2018_Come%20on.pdf.
13. Журавков МА. Об имплементации инструментов Европейского пространства высшего образования. *Высшая школа*. 2015;3:3–5.
14. Макаров АВ, Перфильев ЮС, Федин ВТ. *Реализация компетентностного подхода в системах высшего образования: зарубежный и отечественный опыт*. Минск: РИВШ; 2015. 208 с.

References

1. Moiseyev NN. *Novaya planeta* [New planet]. In: *Mirovoye soobshchestvo i sud'ba Rossii*. Moscow: MNEPU; 1997. 272 p. Russian.
2. *Strategiya obrazovaniya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Education Strategy for Sustainable Development]. In: *Materialy 57-y sessii General'noy Assamblei OON*. [Internet]. [Cited 2019 March 15]. 2005. Available from: http://www.un.org/ru/ga/second/57/second_res.shtml.
3. *Natsional'naya strategiya ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2030 goda* [National strategy for sustainable socio-economic development of the Republic of Belarus for the period up to 2030]. [Internet]. [Cited 2019 March 19]. Minsk, 2015. Available from: <http://srrb.niks.by/program.pdf>.
4. *Maket obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniya pervoy stupeni* [Layout of the educational standard of higher education of the first stage] [Internet]. [Cited 2019 March 19]. Minsk, 2013. Available from: <http://www.nihe.bsu.by/index.php/ru/norm-doc>.
5. *Zimnyaya IA. Klyuchevyye kompetentnosti kak rezul'tativno-tselevaya osnova kompetentnostnogo podkhoda v obrazovanii* [Key competencies as an effective target basis of a competence-based approach in education]. Moskva. Issledovatel'skiy tsentr problem kachestva podgotovki spetsialistov, 2004. 122 p. Russian.

6. Makarov AV. *Kompetentnostno-oriyentirovannyye modeli podgotovki vypusknikov uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya: bolonskiy kontekst* [Competence-oriented models of graduates of higher education institutions: the Bologna context]. *Vysheyshaya shkola*. 2015;5:3–8. Russian.
7. Peresypkin AA. *Kompetentnostnyy podkhod v vysshey shkole. Belorusskiy kontekst* [Competence approach in higher education. Belarusian context] *Novi tekhnologii navchannya. Naukovo-metodichni zbornik*. Kiev; Vinnitsya: [publisher unknown]; 2011; Volume 67(2). p. 170–175. Russian.
8. Baydenko VI, editor. *Bolonskiy protsess: poisk obshchnosti Yevropeyskikh sistem vysshego obrazovaniya (proyekt TUNING)* [The Bologna Process: the search for common European systems of higher education (project TUNING)]. [Internet]. Moscow; 2006. [Cited 2019 March 19]. Available from: http://yspu.org/trn_level_edu/7/tuning1.pdf.
9. Zhuk OL. *Kompetentnostnyy podkhod v standartakh vysshego obrazovaniya po tsiklu sotsial'no-gumanitarnykh distsiplin* [Competence-based approach in the standards of higher education in the social and humanitarian disciplines cycle]. Makarov AV, editor. *Nauchno-metodicheskiye innovatsii v vysshey shkole*. Minsk: RIVSH, 2008. p. 28–38. Russian.
10. Kozlova YeI, Kutafin OYe. *Konstitutsionnoye pravo Rossii* [Constitutional law of Russia]. 3th edition. Moscow: YURIST; 2003. 585 p. Russian.
11. Oreshkina TA. *Ekologicheskiye kompetentsii v strukture obrazovatel'nykh programm vysshey shkoly* [Ecological competences in the structure of higher education educational programs]. *Vestnik Instituta sotsiologii*. 2017;23:113–123. Russian.
12. «ComeOn! Kapitalizm, blizorukost', naseleniye i razrusheniye planety». 2017. [Internet]. 2017: [Cited 2019 March 19]. Available from: https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Weizsacker_Wijkman_2018_Come%20on.pdf.
13. Zhuravkov MA. *Ob implementatsii instrumentov Yevropeyskogo prostranstva vysshego obrazovaniya* [On the implementation of the European Higher Education Space tools]. *Vysheyshaya shkola*. 2015;3:3–5. Russian.
14. Markov AV, Perfil'ev YuS, Fedin VT. *Realizatsiya kompetentnostnogo podchoda v sistemakh vysshego obrazovaniya: zarubezhnyj i otechestvennyj opyt* [Implementation of the competence approach in higher education systems: foreign and domestic experience]. Minsk: RIVSH; 208 p. Russian.

Статья поступила в редакцию 15.04.2019.
Received by editorial board 15.04.2019.

ВИЗУАЛЬНАЯ ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА КАК ВАЖНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Е. В. ТОЛСТАЯ¹⁾, Н. А. КОЗЕЛЬКО¹⁾

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

Рассматривается окружающая визуальная (видимая) среда как один из важных экологических факторов, влияющих на здоровье человека. Искусственная видимая среда, в первую очередь городская, значительно отличается от естественной и часто противоречит физиологии зрительного восприятия. Нарушение визуального окружения человека, проявляющееся в избытке однородных и агрессивных полей, а также в неестественном цветовом окружении, ведет не только к нарушению работы органа зрения, но и способствует развитию психической дезадаптации. Окружающая среда, насыщенная разнообразными визуальными характеристиками, способна или несколько смягчить влияние других отрицательных экологических факторов, или усугубить экологическую ситуацию.

Ключевые слова: визуальная среда; видеоэкология; однородные и агрессивные поля; психоэмоциональное состояние.

VISUAL ENVIRONMENT AS AN IMPORTANT ENVIRONMENTAL FACTOR

E. V. TOLSTAYA^a, N. A. KOZELKO^a

^aInternational Sakharov State Environmental Institute, Belorussian State University,
23/1 Daïhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: N. A. Kozelko (n.nakozelko@gmail.com)

The review shows that the visual (visible) environment around us is one of the important environmental factors affecting human health. The artificial visible environment, primarily urban, is significantly different from the natural and often contradicts the physiology of visual perception. Violation of the visual environment of a person, manifested in an abundance of homogenic and aggressive fields, as well as in an unnatural color environment, leads not only to disruption of the organ of vision, but also contributes to the development of mental disadaptation. The environment is saturated with various visual characteristics that can either mitigate the influence of other negative environmental factors or, conversely, aggravate the ecological situation.

Keywords: visual environment; visual ecology; homogenic and aggressive fields; psychoemotional state.

Введение

Наше время отмечено стремительным ростом городов, жилых комплексов, объектов социальной и инженерной инфраструктуры. Процессы урбанизации, происходящие в Республике Беларусь, вносят существенные изменения в современную жизнь человека. Это отражается на экологических условиях: качестве

Образец цитирования:

Толстая ЕВ, Козелько НА. Визуальная окружающая среда как важный экологический фактор. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:13–20.

For citation:

Tolstaya EV, Kozelko NA. Visual environment as an important environmental factor. *Journal of the Belarussian State University. Ecology*. 2019;2:13–20. Russian.

Авторы:

Елена Васильевна Толстая – кандидат медицинских наук, доцент; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Нина Андреевна Козелько – старший преподаватель кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Author:

Elena V. Tolstaya, PhD (medicine), docent; associate professor at the department of environmental medicine and radiobiology. elto@mail.ru

Nina A. Kozelko, senior lecturer at the department of environmental medicine and radiobiology. n.nakozelko@gmail.com

воздуха, воды, повышении радиации и др. Следует отметить, что резко изменилась также видимая среда. К естественной природной среде организм человека эволюционно приспособивался тысячи лет. Однако в городских условиях (по историческим меркам) человечество проживает сравнительно недавно. Это касается городского образа жизни людей, инфраструктуры и внешнего облика населенного пункта.

В то же время видимый облик внешней среды, воспринимаемый органами зрения, которые являются основным сенсорным каналом, посредством которого человек получает около 80 % информации об окружающей среде, стимулирует и регулирует работу головного мозга. Это оказывает влияние на физиологические и психологические процессы в организме человека. Поэтому нормальная видимая среда – один из главных компонентов жизнеобеспечения человека. Сознательно и неосознанно воспринимаемый человеком видеоряд оказывает влияние на его здоровье и жизнедеятельность в такой же степени, как температура, свет, влажность и другие экологические факторы [1].

Экологическим фактором является любой элемент среды, способный оказать прямое воздействие на живой организм [2]. Следовательно, окружающая среда, воспринимаемая через органы зрения, является экологическим фактором.

Большую часть своей истории человечество провело в окружении естественной природной среды, которая сформировала нашу систему зрительного восприятия. Однако в связи с мировой урбанизацией среда обитания изменилась, нарушились условия ее зрительного восприятия [3].

Естественная видимая среда находится в полном соответствии с физиологическими нормами зрения, поэтому считается благоприятной для зрения по формам и цветовой гамме. Искусственная видимая среда значительно отличается от естественной, что очень часто противоречит физиологии зрительного восприятия. Ее существование стало причиной возникновения очередной экологической проблемы. Это связано с тем то, что человек как вид биологический был сформирован именно в естественных природных условиях при наличии определенной цветовой гаммы [4].

Видеоэкология

Визуальная среда является важным экологическим фактором, которому современным поколением людей не придается должного значения [4].

Процессы урбанизации внесли существенные изменения в видимую нами среду, ее цветовую гамму, структуру окружающего пространства [5]. Поэтому сравнительно недавно стали появляться исследования по изучению влияния видимой среды на человека.

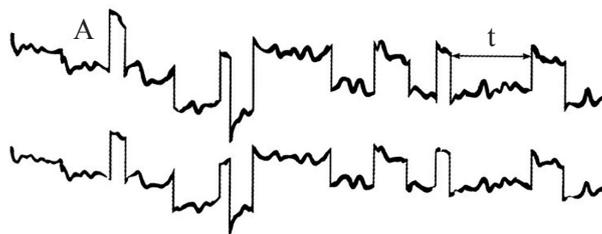
Окружающая среда начала наполняться в настоящее время примитивными геометрическими формами, создавая негативную видимую среду, которая оказывает пагубное воздействие на характер мироощущения, стимулируя снижение работоспособности, усталость, апатию и раздражение. Причинами ее возникновения являются негативные визуальные структуры – *гомогенные и агрессивные видимые поля* [6].

Изучением влияния визуальной среды на здоровье человека занимается новая наука – *видеоэкология*. В научных исследованиях В. А. Филина и др. отмечено негативное влияние на здоровье *гомогенных и агрессивных визуальных полей*, окружающих нас в современном мире. В искусственной видимой среде не могут полноценно работать фундаментальные механизмы зрения, в том числе и такие, как автоматия саккад, *on-* и *off-*системы [7].

Согласно современным исследованиям в области физиологии зрения, глаз постоянно сканирует окружающую среду. Такая активность глаза достигается за счет природы его быстрых движений – *саккад*.

Саккады совершаются постоянно и помимо нашей воли, с открытыми и с закрытыми глазами, во время бодрствования и во время сна. Характер следования саккад обусловлен деятельностью центральной нервной системы, соответствующие структуры которой способны генерировать сигнал по типу автоматии, то есть способны к ритмогенезу. Каждому человеку присущ собственный паттерн следования саккад. Он определяется тремя параметрами: интервалом между саккадами, их амплитудой и ориентацией [1].

Важным направлением видеоэкологии является изучение влияния на здоровье человека *гомогенных и агрессивных полей*. *Гомогенная видимая среда* представлена поверхностями, на которых либо отсутствуют зрительные элементы, либо их число минимально. В природе – это огромные снежные просторы Арктики или Антарктики. Примерами гомогенных полей в городской среде являются панели большого размера, голые торцы зданий, монолитное стекло, подземные переходы, асфальтовое покрытие, глухие заборы и крыши домов. В квартирах гомогенные поля начинаются с гладкой входной двери, продолжаются полированными стенками и шкафами и заканчиваются гладким пластиком на кухне [7].



Запись движений глаз при фиксации испытуемым неподвижной точки за 1 с:
t – интервал между саккадами, A – амплитуда саккады [1]

Recording of moving eyes when subjects fix a fixed point (time 1 s):
t – the interval between saccades, A – the amplitude of the saccades [1]

В гомогенной визуальной среде наблюдается нарушение обратных связей между сенсорным и двигательным аппаратом глаза человека. Это приводит к тому, что по окончании очередной саккады в мозг человека идет импульс настолько небольшого уровня, что вызывает заблуждение зрительных центров, а за ними и нервной системы человека. В итоге при постоянном визуальном гомогенном воздействии техногенных объектов на саккады происходит перенапряжение нервной системы, вызывая появление психических заболеваний. В гомогенной среде резко снижается афферентный приток, нарушая деятельность высших отделов мозга. Установлено, что жизнь и работа в среде, бедной зрительными элементами, а также в затемненных помещениях (кинофабрики, фотоателье и полиграфическая промышленность) вызывает у людей невротические состояния, депрессии, галлюцинации, расстройство сна [1].

В гомогенной среде не могут также работать полноценно системы включения и выключения рецепторов (*on-* и *off-*системы). Они срабатывают только на перепады освещенности, которые часто отсутствуют в рамках однородного видимого поля. Таким образом, после очередной саккады в мозг поступает недостаточно информации. Недостаточность сенсорного сигнала уменьшает также силу обратной связи между сенсорным и двигательным аппаратами, работающими в норме как единое целое. Как и регуляция размера зрачка, в гомогенной среде не может полноценно работать бинокулярный аппарат глаз, а также аппарат аккомодации [1].

В **агрессивных видимых полях** равномерно расположено большое число одинаковых элементов. Современному горожанину довольно часто приходится встречаться с *агрессивной визуальной средой на улице*. Это многоэтажные здания с большим числом окон на стенах, панели домов, стены, облицованные однообразной плиткой, однообразная кирпичная кладка, всевозможные решетки, перегородки, гофрированный алюминий, шифер и т. д. Следует отметить, что в большинстве городов господствует неестественный темно-серый цвет [4].

Основная функция зрения (идентификация объекта, фиксируемого глазом в конкретный момент) в агрессивной визуальной среде практически перестает работать. При созерцании агрессивных структур человек начинает испытывать неприятное ощущение мельтешения, ряби в глазах, крайнего утомления. Его охватывает непреодолимое желание как можно скорее убрать взгляд от неприятного поля зрения. Длительное пребывание в агрессивной визуальной среде вызывает ощущение дискомфорта, крайнего раздражения, а также агрессию [8].

Агрессивность визуальной среды через нарушения саккад изменяет психологическое состояние человека. Следствием этого является ведение агрессивного образа жизни, сопровождающееся правонарушениями, а иногда приводящее человека в психиатрическую больницу [9].

Кроме того, человеческий глаз не терпит большого количества прямых углов и ребер, а также обилия плоскостей [7; 10].

Телевизор – одна из больших проблем видеоэкологии. Большинство современных людей смотрит телевизор до 4 ч в день. Это может быть подсознательной компенсацией зрительного голода. В то же время зрительный ряд телевизионных передач не всегда соответствует нормам зрения. Помимо неестественной частоты кадров и строк, а также цветовой гаммы на человека воздействуют с экрана те же самые агрессивные поля (прямые линии, прямые углы, вставки в виде решеток) [1].

Визуальная экология открывает новое проблемное поле исследований, в том числе аспекты визуального загрязнения и визуального насилия. Важной задачей визуальной экологии является выработка продуктивного системного взгляда на изменения визуальной среды, в том числе через создание медиаобразов, способных примирить противоречия между техническим и природным [11].

Визуальная экология появилась на стыке эстетики и физиологии. Ученые впервые сумели описать механизм воздействия негативных структур на физиологию человека, определив важные составляющие

комфортной визуальной среды. Впервые были представлены научные доказательства того, что гармония функциональна, поэтому проектная культура не может обойтись без визуальной экологии [6].

Визуальная среда современного города

В 1973 г. П. Солери заявил о проблемах архитектурной экологии стандартного строительства и техногенного уклада жизни городского населения, ведущих к росту социальной напряженности, нервозности, психологическим проблемам [12]. Его мнение поддержал в 1987 г. Р. Регистер [13], который предупреждал о будущих проблемах здоровья городского населения. В том же 1987 г. Е. Д. Беляева впервые предложила интегративную концепцию визуальной городской среды и ее влияния на жителей городского поселения [14].

До недавнего времени мало внимания обращалось на внешний вид городских зданий, сооружений и т. д., составляющих видеосреду. Городская визуальная среда формировалась в течение многих веков стихийно, без учета физиологических особенностей зрительного восприятия человека. В современном городе преобладают оттенки темно-серого цвета, большое количество плоских поверхностей, прямые линии и прямые углы [8; 15].

В окраске городских зданий и сооружений преобладает монотонный серый цвет бетона и асфальта, в природе же – более благоприятный для глаз зеленый и другие яркие цвета (особенно в регионах с теплым климатом). В городе много монотонно повторяющихся однотипных деталей на фасадах зданий, что связано главным образом с индустриальным изготовлением типовых изделий – окон, панелей, балконов и др. Особенностью же природных образований является колоссальное разнообразие деталей (нет абсолютно одинаковых листьев, кустов и др.) [4].

В городах с гомогенной и агрессивной визуальной средой происходит перекройка психологии человеческих масс, что влияет на их сознание и поведение. Научные исследования показывают возможность психологического перенапряжения организма человека и увеличение уровня его девиантного поведения в рамках техногенных урбанистических поселений, что предопределяет повышение уровня экологической опасности для организма человека в архитектуре и строительстве [16].

Гомогенные и агрессивные поля в городских условиях создают как психический, так и физический дискомфорт и, согласно некоторым исследованиям, могут являться одной из причин широкого распространения близорукости в городах.

«Агрессивность» для человека современных антропогенных воздействий вызвана их принципиальным отличием от природных, которые сопровождали его сотни тысяч лет в период антропогенеза. Как отмечал профессор Н. Ф. Реймерс, человек исторически более приспособлен к жизни в сельской местности, поэтому городская среда вызывает в нем стресс. В мозгу человека под воздействием многовековой естественной среды и условий жизни сложился личный опыт (личная среда), который определяет его структуру поведения и биопсихологическое состояние. Создался «имидж» окружающей среды (ее компонентов, места расселения, дома, улицы), соответствующий этому опыту. Новые необычные сенсорные ощущения не соответствуют предыдущему опыту и создают напряженность в психофизиологическом состоянии.

Человек со всем комплексом потребностей остался прежним. Такими же остались фундаментальные механизмы зрения, тогда как зрительная среда в местах его обитания меняется к худшему. Это является одной из основных последних проблем видеозкологии. Теперь современная «агрессивная» окружающая среда требует создания нового личного опыта, новой структуры поведения и нового «имиджа» города. Но предыдущий опыт складывался в течение длительного исторического развития и не может быть быстро заменен другим. Необходимо длительное время для его замещения (если организм человека выдержит такие воздействия) [4].

Психологи установили, что уровень развития детей в районах полносборного домостроения отстает от уровня сверстников, живущих в исторической части города [17].

Окружающая нас визуальная среда (естественная и искусственная) влияет на психоэмоциональное состояние как положительно, так и отрицательно. Но до сих пор не разработаны нормативные документы по ее формированию, нет требований по допустимым отклонениям, в частности по допустимым размерам гомогенных и агрессивных полей в архитектуре города. В настоящее время разработаны предложения по улучшению видеосреды города: улучшение визуального качества «стыковых зон» путем уменьшения на фасадах зданий гомогенных и агрессивных визуальных полей; использование более выраженных форм и линий при реконструкции зданий; улучшение комфортности жилых и общественных помещений за счет озеленения; использование дополнительных цветовых и световых акцентов, элементов природного ландшафта, смягчающих любые пространственные несоответствия жилой застройки [18].

В качестве эффективного способа улучшения видеосреды города могут быть использованы такие направления, как создание осмысленных высотных доминант, насыщение архитектуры зданий декоративными элементами, цветовое оформление объектов, увеличение количества и качества малых архитектурных форм и интенсивное озеленение искусственной среды [18].

Эффективное формирование комфортной визуальной среды, соответствующей физиологическим нормам, возможно только при применении системного подхода. Следует подчеркнуть, что городские пространства являются сложной, динамичной, постоянно развивающейся и изменяющейся природно-антропо-технической системой, все компоненты которой находятся в постоянном взаимодействии и взаимозависимости [19].

Научные исследования свидетельствуют о том, что положительные характеристики визуальной среды могут в известной степени нейтрализовать экологическое неблагополучие, формируя положительное эмоциональное отношение к городу. Благоприятная визуальная среда города может несколько смягчить действие объективных отрицательных факторов на здоровье человека, а неблагоприятная – усилить [17].

Визуальная среда внутренних помещений

В последнее время получил распространение стиль, названный *роскошным минимализмом*. Он предполагает много однородных полей: белые однотонные потолки, плоские деревянные покрытия безо всяких украшений, светящиеся однотонные экраны и однотонная мебель простых очертаний. Еще большую проблему, с точки зрения видимой среды, представляют интерьеры промышленных предприятий, медицинских учреждений. Экспансия в современной окружающей среде однородных полей ведет ко многим негативным последствиям [1].

С каждым годом растет число школьников, проживающих в городской среде. Для подрастающего поколения, большую часть времени проводящего за школьной партой, важно качество еще одной среды – визуальной школьной.

Исследование, проведенное в Казахстане, свидетельствует, что обучающиеся чувствуют себя комфортнее в тех кабинетах (биологии, казахского и русского языка, черчения), которые соответствуют гигиеническим требованиям. При визуальном и эмоциональном восприятии нескольких кабинетов учащиеся оценили высоким баллом цветовой дизайн, наличие разнообразных растений.

Низкую оценку, с позиций комфортности восприятия, школьники дали кабинетам математики и физики, в которых отмечалась небрежность и серость в оформлении, отсутствие комнатных цветов.

Результаты анкетирования показали, что на эмоциональное восприятие школьниками кабинетов большую роль играет цветовое оформление. Так, благополучными в школе были отмечены кабинеты биологии, казахского и русского языка, черчения. В них преобладают светлые тона в окраске (светло-голубой, желтый, белый, светло-зеленый) [20].

Цвет как энергия необходим для поддержания тонуса центральной нервной системы. Известны случаи «цветового голодания», когда при цветовой бедности окружающего пейзажа и обстановки развивались симптомы астении. В. Е. Демидовым (1987) отмечено, что у детей, длительное время проживающих в условиях «цветового голодания», отмечается даже задержка интеллектуального развития [21].

Цвет с раннего детства связан с эмоциями на самых разных уровнях психической деятельности человека, а следовательно, утверждаемая рядом исследователей ведущая роль фактора научения в образовании цветэмоциональных связей не может быть принята [22].

Цвета природы оказывают на нас огромное влияние и, хотим мы того или не хотим, формируют наши психологические и физиологические качества. В случае, когда мы имеем дело с одним каким-то цветом, особенно если он точно соответствует психологическим и физическим реакциям человека, как это представлено в цветовом тесте М. Люшера, предпочтение одного цвета другому означает нечто определенное, отражая состояние мозга, желез внутренней секреции, того и другого вместе [9].

В настоящее время патогенез астений связан с недостаточным влиянием восходящих отделов ретикулярной формации, отвечающей за энергетический обмен организма [23]. В то же время профессором С. В. Кравковым в многочисленных экспериментах были выявлены взаимосвязи между цветовым зрением и вегетативной нервной системой, а также гипоталамусом. В настоящее время хорошо известно, что гипоталамус играет интегрирующую роль в деятельности физиологических и психических функций организма. При этом ядра передней гипоталамической области, тесно связанные с нейрогипофизом, имеют отношение к интеграции парасимпатической нервной системы, а ядра задней гипоталамической области, примыкающие к ретикулярной формации, – к интеграции симпатической нервной системы. Зрительные проводящие пути анатомически тесно связаны со всеми этими структурами [24].

Результаты экспериментальных работ школы С. В. Кравкова (1935–1951 гг.) показали, что цветовое воздействие приводит к определенным изменениям тонуса высшей нервной системы (ВНС), а изменение тонуса ВНС оказывает влияние на цветовое зрение [24]. При организации цветового оформления визуальной среды следует иметь в виду возрастные цветовые предпочтения. Результаты многочисленных исследований показали, что среди подростков цвета по своей предпочтительности распределяются следующим образом: голубой, зеленый, красный, желтый, оранжевый, фиолетовый, белый [22]. Необходимо принимать во внимание, что длительное воздействие синего и в какой-то мере зеленого приводит к торможению нервной системы и даже к депрессии, вызывая ощущение чего-то печального и скучного. Длительное же воздействие красного и желтого может привести к перевозбуждению, а затем и к защитному торможению нервной системы [25].

Цветовое воздействие может усиливать вегетативные проявления стресса. Так, согласно данным Л. А. Китаева-Смык, «цветовая нагрузка» с использованием коричневого цвета, оранжевого и особенно желтого заметно усиливает имеющуюся при кинетозе тошноту. Однако тошнота снижалась при воздействии голубого, фиолетового и особенно синего цвета [26].

Исследования видеоэкологов свидетельствуют о том, что искусственная визуальная среда отрицательно влияет на здоровье человека. При экологическом обследовании новостройки с точки зрения видеоэкологии может оцениваться только вид из окна. При осмотре же жилой квартиры ее интерьер может быть оценен с точки зрения видеоэкологии и даны общие рекомендации по его усовершенствованию (замене обоев и т. д.) [17].

Уменьшить негативное воздействие со стороны визуальной и создать комфортную среду в местах обитания человека способны растения. В работе, группируя по законам гармонии (симметрия, «золотая пропорция», контраст, нюанс и гармония цвета), опытным путем доказано, что наивысшего повышения качества визуальной среды при помощи растений можно достичь, если использовать в фитодизайне цветущие и декоративно-лиственные растения [27].

С учетом формы объектов, их цвета и взаимного расположения Дж. О. Саймондсом были сделаны выводы о влиянии ландшафта, архитектуры и дизайна на психическое состояние человека. Так, развитию *напряженности* способствуют цветовой конфликт, непрерывная интенсивность цвета и др. *Психологической разрядке* помогут плавные линии, изгибающиеся формы и пространства, горизонтальность, мягкий свет, а также спокойные цвета (белые, серые, синие, зеленые). К развитию *испуга* ведет ощущение ограничения и очевидной западни, скользкая плоскость пола, острые выступающие элементы, тусклость, темнота, мрачность, бледный и трепещущий или же, наоборот, ослепляющий свет, ненормальный монохроматический цвет, холодные синие и холодные зеленые тона. К *недовольству* приводят отсутствие комфорта, неприятная фактура, беспорядок, дисгармоничные цвета, неприятное качество света [28].

Помимо собственно интерьера помещения, огромное значение для восприятия имеют его пропорции, главным образом, отношение их высоты к площади. Ф. Ф. Эрисман показал, что одна и та же емкость помещения может иметь различное значение: в одном случае являться результатом среднего гармоничного сочетания площади и высоты, а в другом – представлять собой произведение узкой квартирной площади на ненормативно большую высоту.

В 1952 г. был проведен опрос (А. И. Шафир, М. С. Дарманчева, Е. И. Соломонова) 1100 жильцов 1068 комнат различной площади и высоты (от 2,5 до 3,5 м и более), оценки выражались в + и -. Как показал статистический разброс мнений населения, закон пропорций особенно грубо нарушается, когда при небольшой высоте, слишком велика площадь помещения. Предпочтение всецело отдается правильным пропорциям отношения высоты к глубине 1:1,5–1:1,75–1:2, где глубина помещения – расстояние от светонесущей стены до противоположной внутренней стены. Был сделан вывод, что для наилучшего психологического состояния человека в помещении, для обеспечения его уюта и наиболее полноценного отдыха предпочтительно соблюдение в помещении вышеприведенных пропорций и высоты потолка в 3,5 м. Пространственные параметры: норма – 14–15 м /чел (жилой S), оптимально – 15–19 м /чел. Количество комнат должно быть на одну больше, чем количество проживающих лиц [17].

Заключение

Окружающая нас визуальная (видимая) среда является важным экологическим фактором, влияющим на здоровье человека. Большую часть своей истории человечество провело в окружении естественной природной среды, которая сформировала систему зрительного восприятия. В связи с урбанизацией изменилась среда обитания и условия ее зрительного восприятия. Изучением влияния визуальной среды на здоровье человека занимается новая наука – *видеоэкология*.

Нарушение визуального окружения человека, проявляющегося в избытии гомогенных и агрессивных полей, а также в неестественном цветовом окружении, ведет не только к нарушению работы органа зрения, но и способствует развитию психической дезадаптации. Благоприятная визуальная среда может в известной степени смягчить действие объективных отрицательных факторов на здоровье человека, а неблагоприятная – усилить.

Библиографические ссылки

1. Филин ВА. *Автоматия саккад*. Москва: МГУ; 2002.
2. Hartmann N. *Asthetik*. Berlin: [publisher unknown]; 1953.
3. Волков МА, Калачева Ю, Кожевникова О. Визуальная среда обитания. *Электронный периодический научный журнал «SCI-ARTICLE.RU»*. 2013;3:30–42.
4. Филин ВА. *Видимая среда в городских условиях как экологический фактор*. Москва: Наука; 1990.
5. Филин ВА. Цветовая среда города как экологический фактор. В: *Колористика города. Материалы международного семинара*. Москва: [б. н.]; 1990. Том 1. с. 55–60.
6. Саурбаева АМ. Визуальная экология как фактор развития «гармоничной» архитектуры. В: *«Наука и образование – 2013»*. VIII Международная научная конференция студентов и молодых ученых. Астана: [б. н.]; 2013. с. 47–51.
7. Филин ВА. *Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что – плохо*. Москва: Видеоэкология; 2006.
8. Карманова И. Визуальная среда современного города. *Будмайстер*. 2003; 13:35–36.
9. Филин ВА. Визуальная среда города. *Вестник Международной академии наук (русская секция)*. 2006;2:43–50.
10. Филин ВА. *Архитектура как проблема видеоэкологии*. Москва: ВНИИТАГ; 1990.
11. Колесникова ДА, Савчук ВВ. Визуальная экология как дисциплина. *Вопросы философии*. 2015;10:41–50.
12. Soleri P. *Arcology: the city in the image of man*. Cambridge; Mass.; London: MIT Press; 1973.
13. Register R. *Ecocity Berkeley: Building Cities for a Healthy Future*. Berkeley: North Atlantic Books; 1987.
14. Беляева ЕД. *Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия*. Москва: Стройиздат; 1987.
15. Городков АВ, Салтанова СИ. Агрессивные визуальные поля города как фактор несовместимости биосферы и урбосреды. *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2013;1(1):76–83.
16. Козачек АВ. Седьмой технологический уклад: возможные глобальные экологические проблемы и соответствующие аспекты профессиональной подготовки инженера-эколога. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015. Том 17; 5(2):477–489.
17. Капралова ДО. *Экологическое обследование жилых помещений как критерий безопасности для здоровья человека [диссертация]*. Москва: [б. н.]; 2009. 172 с.
18. Сагнаева АТ. *Видеосреда крупного города как экологический фактор [диссертация]*. Омск: [б. н.]; 2010. 158 с.
19. Хван ЕН. Критерии оценки комфортности городской среды. *Вестник Казахской Головной архитектурно-строительной академии*. 2010;1(35):83–87.
20. Турабаева ГК, Бозшатаева ГТ, Оспанова ГС, Каипова ЖМ, Кудайбергенова УЖ, Менликулова АБ. Влияние визуальной школьной среды на учащихся. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016;5(3):484–486.
21. Демидов ВЕ. *Как мы видим, что видим*. Москва: Наука; 1987.
22. Базыма БА. *Психология цвета. Теория и практика*. Санкт-Петербург: Речь; 2005.
23. Вейн АМ, Федотова АВ, Гордеев СА. Применение энегриона при психовегетативном синдроме в сочетании с выраженной астенией. *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. 2003;103(10):36–39.
24. Кравков СВ. *Цветовое зрение*. Москва: Издательство АН СССР; 1951.
25. Миронова ЛН. *Цветоведение*. Минск: Вышэйшая школа; 1984.
26. Китаев-Смык ЛА. *Психология стресса*. Москва: Наука; 1983.
27. Кузьмина Н. Улучшение качества внутренней визуальной среды научного учреждения посредством комплексного использования тропических и субтропических растений. *Žmogaus ir gamtos sauga*. 2018;4:37–40.
28. Саймондс Д. О. *Ландшафт и архитектура*. Москва: Стройиздат; 1965. 190 с.

References

1. Filin VA. *Avtomatiya sakkad* [Saccade Automation]. Moscow: MSU; 2002. Russian.
2. Hartmann N. *Estetika* [Ästhetik]. Berlin: [publisher unknown]; 1953. Germany.
3. Volkov MA, Kalacheva Yu, Kozhevnikova O. Visual habitat *Electronic periodical scientific journal «SCI-ARTICLE.RU»*. 2013;3:30–42. Russian.
4. Filin VA. *Vidimaya sreda v gorodskikh usloviyakh kak ekologicheskii faktor* [Visible environment in urban areas as an environmental factor]. Moscow: Nauka; 1990. Russian.
5. Filin VA. [The color environment of the city as an environmental factor] In: *Coloristika goroda. Materialy mezhdunarodnogo seminara* [Coloring of the city. Proceedings of the International Seminar]. Moscow: [publisher unknown]; 1990. Volume 1. p. 55–60. Russian.
6. Saurbaeva AM. [Visual ecology as a factor in the development of «harmonious» architecture]. In: *«Nauka i obrazovanie – 2013»*. VIII Meshdunarodnaya konferenziya studentov i molodyshch uchenysh [«Science and Education – 2013». VIII International Scientific Conference of Students and Young Scientists]. Astana: [publisher unknown]; 2013. p. 47–51. Russian.
7. Filin VA. *Videoekologia. Chto dlya glaza khorosho, a chto – plokho* [Videoeology. What is good for the eye and what is bad for the eye]. Moscow: Videoekologia; 2006. Russian.
8. Karmanova I. Visual environment of the modern city. *Budmeister*. 2003;13: 35–36. Russian.

9. Filin VA. Visual environment of the city. *Journal of the International Academy of Sciences (Russian section)*. 2006;2:43–50. Russian.
10. Filin VA. *Architectura kak problema videoekologii* [Architecture as a problem of videoecology]. Moscow: VNIITAG; 1990. Russian.
11. Kolesnikova, DA, Savchuk VV. [Visual ecology as a discipline]. *Questions of Philosophy*. 2015;10:41–50. Russian.
12. Soleri P. *Arcology : the city in the image of man*. Cambridge: Mass.; London: MIT Press; 1973.
13. Register R. *Ecocity Berkeley: Building Cities for a Healthy Future*. Berkeley: North Atlantic Books; 1987.
14. Belyaeva ED. *Architekturno-prostranstvennaya sreda goroda kak ob'ekt zritel'nogo vospriyatiya* [Architectural and spatial environment of the city as an object of visual perception]. Moscow: Stroyizdat; 1987. Russian.
15. Gorodkov AV, Saltanova SI. Aggressive visual fields of the city as a factor of incompatibility of the biosphere and urban environment. *Biosphere compatibility: man, region, technology*. 2013;1(1):76–83. Russian.
16. Kozachek AV. [The seventh technological mode: possible global environmental problems and the corresponding aspects of the professional training of an environmental engineer]. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. Volume 17; 5(2):477–489. Russian.
17. Kapralova DO. *Ekologicheskoe obsledovanie shilykh pomeshcheniy kak kriteriy bezopasnosti dlja zdorov'ja cheloveka* [Environmental survey of residential premises as a safety criterion for human health] [dissertation]. Moscow: [publisher unknown]; 2009. 172 p. Russian.
18. Sagnaeva AT. *Videosreda krupnogo goroda kak ekologicheskij factor* [Video Medium of a Large City as an Ecological Factor] [dissertation]. Omsk: [publisher unknown]; 2010. 158 p. Russian.
19. Khvan EN. *Kriterii ozhenki komfortnosti gorodskoy sredy* [Criteria for assessing the comfort of the urban environment]. *Vestnik Kazakhskoy Golovnoy arkhitekturno-stroitel'noy akademii*. 2010;1(35):83–87. Russian.
20. Turabayeva GK, Bozshataeva GT, Ospanova GS, Kaipova ZhM, Kudaibergenova UZh, Menlikulova AB. Influence of the visual school environment on students. *International Journal of Applied and Fundamental research*. 2016;5(3):484–486. Russian.
21. Demidov VE. *Kak my vidim, chto my vidim* [As we see, we see]. Moscow: Nauka; 1987. Russian.
22. Bazyma BA. *Psichologiya cveta. Teoriya i praktika* [Psychology of color. Theory and practice]. Saint Petersburg: Rech'; 2005. Russian.
23. Wayne AM, Fedotova AV, Gordeev SA. Use of an eneration in the psycho-vegetative syndrome in combination with severe asthenia. *Journal Neurology and Psychiatry named after S. S. Korsakov*. 2003;103(10):36–39. Russian.
24. Kravkov SV. *Cvetovoe zrenie* [Color vision]. Moscow: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR; 1951. Russian.
25. Mironova LN. *Cvetovedenie* [Color science]. Minsk: Vyshcheyshchaja shchkola; 1984. Russian.
26. Kitayev-Smyk LA. *Psichologiya stressa* [Psychology of stress]. Moscow: Nauka; 1983. Russian.
27. Kuzmina N. Improving the quality of the internal visual environment of a scientific institution through the integrated use of tropical and subtropical plants. *Zmogaus ir gamtos sauga* [Human and nature safety]. 2018;4:37–40. Russian.
28. Symonds DO. *Landshchaft i architektura* [Landscape and architecture]. Moscow: Stroyizdat; 1965. 190 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 08.04.2019.
Received by editorial board 08.04.2019.

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 574.5;577.33/34;577.355

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ВОДЫ НА ОТРЕЗКЕ Р. СВИСЛОЧЬ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Т. М. МИХЕЕВА¹⁾, Р. З. КОВАЛЕВСКАЯ¹⁾, Н. В. ДУБКО¹⁾, Ю. К. ВЕРЕС¹⁾, В. Я. ВЕНЧИКОВ²⁾

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

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета, ул. Курчатова, 7, 220064, г. Минск, Беларусь

Образец цитирования:

Михеева ТМ, Ковалевская РЗ, Дубко НВ, Верес ЮК, Венчиков ВЯ. Определение компонентного состава и качественных характеристик органического вещества по спектральным характеристикам воды на отрезке р. Свислочь в летний период. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;2:21–33.

For citation:

Mikheeva TM, Kovalevskaya RZ, Dubko NV, Veres JuK, Venchikov VYa. Determination of component composition and qualitative characteristics of organic substance by spectral characteristics of water of the river Svisloch section in the summer period. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;2:21–33. Russian.

Авторы:

Тамара Михайловна Михеева – доктор биологических наук, доцент; главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии.

Раиса Зеноновна Ковалевская – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии.

Наталья Владимировна Дубко – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии.

Юлия Константиновна Верес – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии.

Виталий Яковлевич Венчиков – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией оптических средств измерения.

Authors:

Tamara M. Mikheeva, doctor of science (biology), docent; chief researcher at the research laboratory of aquatic ecology.
mikheyeva@tut.by

Raisa Z. Kovalevskaya, senior researcher at the research laboratory of aquatic ecology.
lakes@bsu.by

Natalya V. Dubko, researcher at the research laboratory of aquatic ecology.
lakes@bsu.by

Julia K. Veres, PhD (biology), senior researcher at the research laboratory of aquatic ecology.
Veres.julia.naroch@gmail.com

Vitaly Ya. Venchikov, PhD (physics and mathematics), head of optical measurement laboratory.
venchikov@yahoo.com

На отрезке р. Свислочь – главной водной артерии г. Минска с каскадом водохранилищ в летние месяцы 2016 г. изучали пространственное распределение общего пула органических веществ (ОВ) и его компонентный состав (растворенная и взвешенная фракции, содержание хлорофилла *a* – косвенный показатель биомассы фитопланктона). Использовали общепринятые в гидробиологии методы с одновременным определением спектральных характеристик воды, что явилось их первым применением для речной системы в Беларуси. Наблюдения проведены в прибрежной зоне на 9 створах водотока (от верховья до выхода из города). Дана картина временных и пространственных изменений всех изучаемых параметров вниз по течению русловых и водохранилищных участков. Особое внимание уделялось выявлению взаимосвязи компонентов органического вещества с содержанием хлорофилла *a* и спектральных характеристик воды. Выявлено тесное взаимодействие всех компонентов ОВ с содержанием хлорофилла *a*, что свидетельствует о приоритетной роли сообщества фитопланктона в формировании ОВ, а также их связь с оптическими характеристиками воды, которые можно использовать для оперативного экологического мониторинга.

Ключевые слова: Беларусь; р. Свислочь; русловые участки; водохранилище; оптические характеристики воды; фракции органического вещества; сестон, хлорофилл *a*.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках задания «Связь количественных и качественных показателей формирования органического вещества (ОВ) водохранилищ и нижележащих речных участков водотоков с некоторыми оптическими характеристиками водных объектов» подпрограммы «Радиация и природные системы» Государственной программы научных исследований (ГПНИ) «Природопользование и экология» на 2016–2020 гг.

DETERMINATION OF COMPONENT COMPOSITION AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF ORGANIC SUBSTANCE BY SPECTRAL CHARACTERISTICS OF WATER OF THE RIVER SVISLOCH SECTION IN THE SUMMER PERIOD

T. M. MIKHEEVA^a, R. Z. KOVALEVSKAYA^a, N. V. DUBKO^a, Ju. K. VERES^a, V. Ya. VENCHIKOV^b

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

^bNational Research Center for Monitoring the Ozonosphere of Belarusian State University,
7 Kurčatava Street, Minsk 220064, Belarus

Corresponding author: T. M. Mikheyeva@tut.by

On the section of the Svisloch River – the main waterway of the Minsk city with a cascade of reservoirs in the summer months of 2016 there were studied the spatial distribution of the total pool of organic matter (OM) and its composition (dissolved and suspended fractions, chlorophyll *a* content – indirect indicator of phytoplankton biomass). Generally accepted in hydrobiology methods were used with simultaneous determination of the spectral characteristics of water, what was their first use for the river system in Belarus. The observations were carried out in the coastal zone at 9 sections of the watercourse from the headwaters to the exit from the city. The picture of temporal and spatial changes of all studied parameters downstream of the channel and reservoir areas is given. Particular attention was paid to identifying the relationship of the components of organic matter with the content of chlorophyll *a* and the spectral characteristics of water. A close relationship of all OM components was revealed with the chlorophyll *a* content, which indicates the priority role of the phytoplankton community in the formation of organic matter as well as their relationship with the optical characteristics of water that can be used for operational environmental monitoring.

Key words: Belarus; Svisloch; channel areas; reservoirs; optical water characteristics; organic matter fractions; seston; chlorophyll *a*.

Acknowledgment. The study was carried out in the frames of the task «The connection of quantitative and qualitative indicators of the organic matter formation in reservoirs and underlying river sections of watercourses with some optical characteristics of water objects» of the «Radiation and Natural Systems» subprogram of the State Program for Scientific Research (SPSR) «Nature Management and Ecology» on 2016–2020.

Введение

Органическое вещество (ОВ) является одним из определяющих факторов в функционировании и формировании качества поверхностных вод. Весь запас ОВ распределен в двух основных фракциях – растворенной и взвешенной. Определение содержания ОВ (особенно в растворенной фракции) и его качественных параметров в водных экосистемах является трудоемкой процедурой, требующей значительных затрат времени и ресурсов. Использование приборной базы, основанной на принципе измерений оптических параметров воды, позволяет значительно упростить задачу и выработать методику быстро-

го и малозатратного определения количественных и качественных показателей ОВ поверхностных вод, что является актуальным в контексте наблюдающейся в настоящее время оптимизации расходов на мониторинг поверхностных вод. Органическое вещество в водных экосистемах формируется в результате сложного комплекса внутриводоемных гидрологических, физико-химических, биологических процессов (автохтонное ОВ), а также при поступлении с водосборной территории и атмосферными осадками (аллохтонное ОВ). Биологические процессы при этом играют решающую роль, обеспечивая эффективность самоочищения, качество воды и формирование продуктивности водоемов и речных экосистем, их трофический статус. Оптические свойства водной среды обусловлены присутствием оптически активных компонентов взвешенного и растворенного вещества, в формировании которых приоритетную роль играют микроводоросли толщи воды – фитопланктон. Трудоемкость количественного определения биомассы фитопланктона делает оправданным использование непрямых методов ее оценки, в частности, по содержанию хлорофилла *a* в единице объема. В последнее время этот метод становится все более популярным в экологическом мониторинге водных экосистем. Изучение спектральных характеристик воды, их связи с оптически активными компонентами взвешенного и растворенного органического вещества необходимо для создания эмпирической модели, позволяющей инструментальными методами оперативно оценивать экологическую ситуацию в водной экосистеме. С этой целью на отрезке р. Свислочь летом 2016 г. с применением общепринятых в гидробиологии методов и регистрации спектров абсорбции выполнены исследования по изучению связи количественных и качественных параметров взвешенного и растворенного ОВ, в том числе содержания хлорофилла, с оптическими характеристиками воды.

Материалы и методы исследования

Река Свислочь, самый крупный приток р. Березины – главная водная артерия г. Минска с каскадом водохранилищ, подвержена высокой антропогенной нагрузке. Летом на всем протяжении городского отрезка реки периодически возникает «цветение» воды цианобактериями (синезелеными водорослями), что сопровождается ухудшением экологической ситуации. Наблюдения велись в летние месяцы 2016 г. на отрезке от верховья водотока, являющегося частью канала Вилейско-Минской водной системы, до выхода из г. Минска в микрорайоне Шабаны. Пробы отбирались в прибрежной зоне 9 створов: канале переборки Вилейской воды (ств. 1), на водохранилищах Заславское (ств. 2), Дрозды (ств. 3 и 4), Комсомольское оз. (ств. 6), Чижовское (ств. 8) и русловых участках в районах футбольного манежа (ств. 5), ул. Аранская (ств. 7) и микрорайона Шабаны (ств. 9). Схема расположения створов представлена на рис. 1.

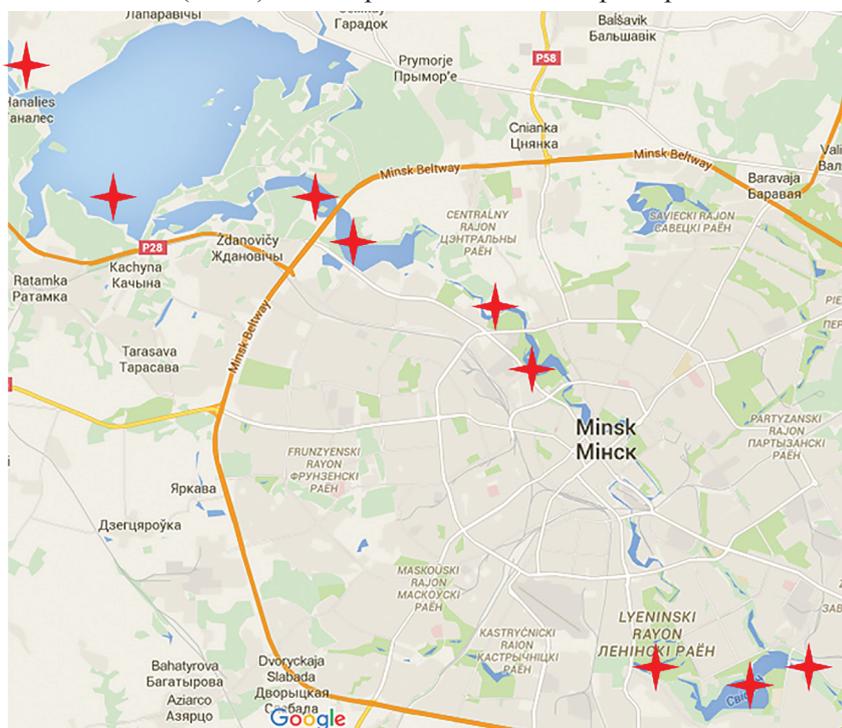


Рис. 1. Картограмма расположения станций забора проб на речных участках и водохранилищах р. Свислочь

Fig. 1. The sampling map in the river sections and reservoirs of the Svisloch River

В пробах определяли концентрацию взвешенных веществ (сестона) по сухой массе, содержание хлорофилла *a* в их составе, концентрации общего пула и растворенного органического вещества с одновременной оценкой оптических характеристик воды по спектрам абсорбции в коротковолновом диапазоне.

Содержание сестона оценивали гравиметрическим методом, используя тарированные мембранные фильтры с диаметром пор 1,0 мкм после высушивания их при температуре 60 °С. На этих же фильтрах спектрофотометрическим методом ацетоновых экстрактов [1] определяли содержание хлорофилла *a*. В работе величины хлорофилла *a* приведены без учета феопигментов.

Концентрацию общего пула ОВ (ХПК – химическое потребление кислорода) в воде определяли по величине бихроматной окисляемости сухого остатка после выпаривания проб воды на водяной бане в модификации А. П. Остапени [2]. Таким же образом устанавливали концентрацию растворенного органического вещества (РОВ) в фильтрате. Содержание взвешенного органического вещества (ВОВ) рассчитывали по разности между величинами ХПК и РОВ. Для оценки изменений в содержании и составе РОВ одновременно с указанными методами был использован не получивший пока широкого применения метод определения оптических характеристик воды по спектрам абсорбции нативной (нефильтрованной) и фильтрованной воды относительно дистиллята с регистрацией их на двухлучевом спектрофотометре SPECORD M40. В качестве оптических характеристик были использованы коэффициенты светопоглощения α_λ при определенной длине волны (λ), их соотношение и коэффициенты экспоненциального наклона *S*.

Коэффициент светопоглощения α_λ при определенной длине волны (λ) рассчитывали по формуле (1) согласно [3]:

$$\alpha_\lambda = 2.303 \cdot D(\lambda) / l, \quad (1)$$

где α_λ – коэффициент светопоглощения при длине волны λ , м⁻¹;

D (λ) – оптическая плотность воды при длине волны λ ;

l – длина кюветы, м.

В коротковолновом диапазоне величины оптической плотности и, соответственно, коэффициенты светопоглощения заметно возрастают с уменьшением длины волны. Зависимость α_λ от длины волны для отдельных участков спектра может быть описана экспоненциальным уравнением:

$$\alpha_\lambda = \alpha_{\lambda_1} \cdot e^{S(\lambda - \lambda_1)}, \quad (2)$$

где α_λ , α_{λ_1} – коэффициенты светопоглощения при соответствующих (λ и λ_1) длинах волн;

S – коэффициент экспоненциального наклона, нм⁻¹.

Коэффициент *S* отражает качественный состав РОВ и может использоваться для оценки соотношений фульво- и гуминовых кислот, молекулярного веса, соотношения органического вещества аллохтонного и автохтонного происхождения [4; 5].

Статистический анализ данных проводили в табличном редакторе Excel и с использованием программы Statistica 8.0. В корреляционном анализе использовался коэффициент корреляции Спирмена (Spearman rank). Уровень статистической значимости всех критериев принимался равным 0,05 [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Концентрация взвешенных веществ (сестона) и содержание хлорофилла *a*. Характер пространственных изменений содержания взвешенных веществ и хлорофилла на наблюдаемом отрезке реки, как следует из рис. 2, в исследуемый период весьма сходен. Лишь в июне на русловом участке в районе улицы Аранская синхронность хода двух показателей была нарушена в результате значительного поступления аллохтонной взвеси с береговой территории. Относительное содержание хлорофилла в сухой массе сестона здесь оказалось крайне низким (0,02 %). Высокий коэффициент парной корреляции содержания сестона и хлорофилла (0,96) указывает на значительную роль фитопланктона в формировании взвешенных веществ, прежде всего, в системе водохранилищ. Размах пространственных изменений содержания хлорофилла, следовательно, количественного развития фитопланктона гораздо шире, чем общей массы взвеси. Содержание взвеси укладывалось в пределы 2,1–156,1 мг/л, содержание хлорофилла – 1,4–457,0 мкг/л. Наименьшие величины показателей во все сроки наблюдений отмечены в верховье реки – 2,12–2,8 мг/л и 1,4–5,6 мкг/л соответственно. Максимальные значения хлорофилла были приурочены, как правило, к нижним створам. Чрезвычайно высокое содержание взвеси (156 мг/л) и хлорофилла (457 мкг/л) в августе в прибрежной зоне Чижовского водохранилища, принимающего поверхностный сток с большей части территории города, обуславливалось интенсивным «цветением» воды и скоплением цианопрокариот в прибрежной зоне. Высокий уровень содержания хлорофилла и взвеси был характерен и для створа на выходе водотока из города в микрорайоне Шабаны. Абсолютное содержание

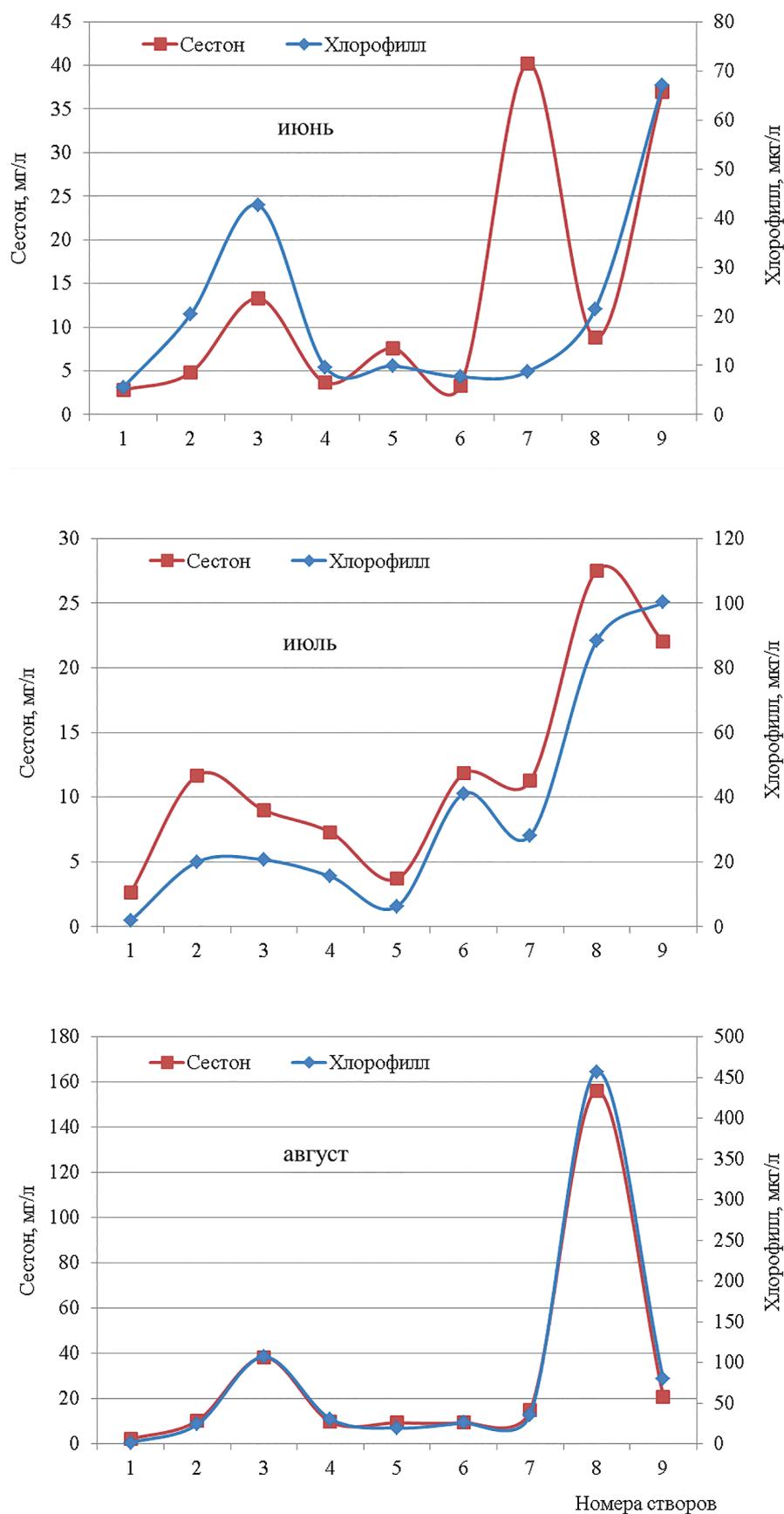


Рис. 2. Распределение величин сухой массы сестона и хлорофилла *a* в р. Свисloch в летний период

Fig. 2. The distribution of the dry weight of seston and chlorophyll *a* in the R. Svisloch in the summer

хлорофилла в реке на протяжении периода наблюдений различалось на порядки. Его относительное содержание в сухой массе сестона (0,02–0,44 %) различалось менее значительно, хорошо отражая наличие абиогенной доли в составе взвешенных веществ на различных участках реки. Повышенное содержание взвешенных веществ и хлорофилла в июне и августе наблюдалось в водохранилище Дрозды за МКАД, где непосредственно на берегу расположены стоянка машин и примитивная шашлычная. Таким образом, в периоды высокой рекреационной нагрузки на данном участке водохранилища может резко ухудшаться экологическая ситуация.

Анализ всего массива полученных данных показал тесную зависимость между общей концентрацией взвешенных веществ и содержанием хлорофилла, что отражено в материалах, приведенных на рис. 3.

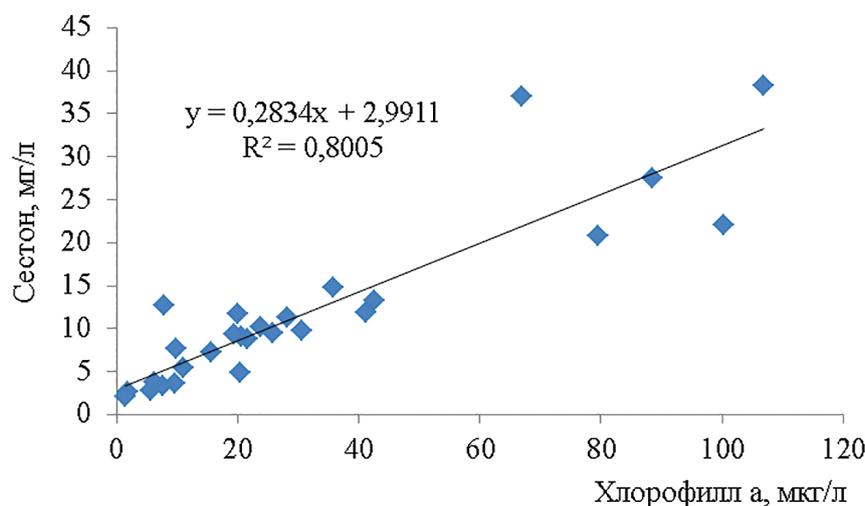


Рис. 3. Связь между содержанием хлорофилла *a* и концентрацией сестона в р. Свислочь в летний период (на графике отражено уравнение линейной зависимости и его коэффициент аппроксимации R^2)

Fig. 3. The relationship between chlorophyll *a* content and seston concentration in the Svisloch River in the summer (the linear regression equation and its approximation coefficient R^2 is presented on the graph)

Коэффициент корреляции Спирмена между показателями оказался высоким (0,89, $n=27$, $p<0,05$). Приведенные результаты свидетельствуют о важнейшей роли фитопланктона в процессах формирования взвешенных веществ, а следовательно, и качества воды на исследованном участке реки летом.

Общее содержание органического вещества (ХПК), растворенной (РОВ) и взвешенной (ВОВ) фракций в его составе. В общем пуле органических веществ выделяют две основные фракции – взвешенное (ВОВ) и растворенное (РОВ) органическое вещество. Граница между ними достаточно условна. К РОВ могут относить сумму органических веществ, определяемых в фильтрате после фильтрации воды через фильтры с разным диаметром пор – от 0,45 мкм до 1,5 мкм. Нами были использованы фильтры с размером пор 1,0 мкм. На рис. 4 представлены временные и пространственные изменения параметров органического вещества на отрезке реки в летний сезон.

Надо отметить большое сходство характера сезонной динамики и пространственного распределения концентрации всех составляющих органического вещества в воде на рассматриваемом отрезке реки с динамикой и распределением содержания взвешенных веществ и хлорофилла *a*, представленных в предыдущем разделе. Однако вариабельность показателей органического вещества была гораздо меньше. Так, за исключением Чижовского водохранилища, в августе, когда все показатели ОВ здесь оказались чрезвычайно высокими (ХПК – 138,74 мг O_2 /л, РОВ – 44,94 мг O_2 /л, ВОВ – 93,84 мг O_2 /л), их изменения за сезон укладывались в пределы: 22,4–52,6 мг O_2 /л; 18,9–44,9 мг O_2 /л и 0,9–23 мг O_2 /л соответственно. В общем пуле ОВ, за исключением Чижовского водохранилища, в августе преобладало содержание РОВ (60–97 %). При массовом развитии синезеленых водорослей в августе в Чижовском водохранилище содержание РОВ оказалось немногим более 30 %. Диапазон изменений соотношения РОВ/ВОВ колебался в широких пределах (от 0,5 до 30 раз), что определяется, прежде всего, динамичной продукционно-деструкционной активностью живой компоненты взвеси, в формировании которой приоритетная роль принадлежит планктонным водорослям. В табл. 1 приведены данные, характеризующие корреляционную связь ХПК, ВОВ и РОВ с содержанием хлорофилла *a*.

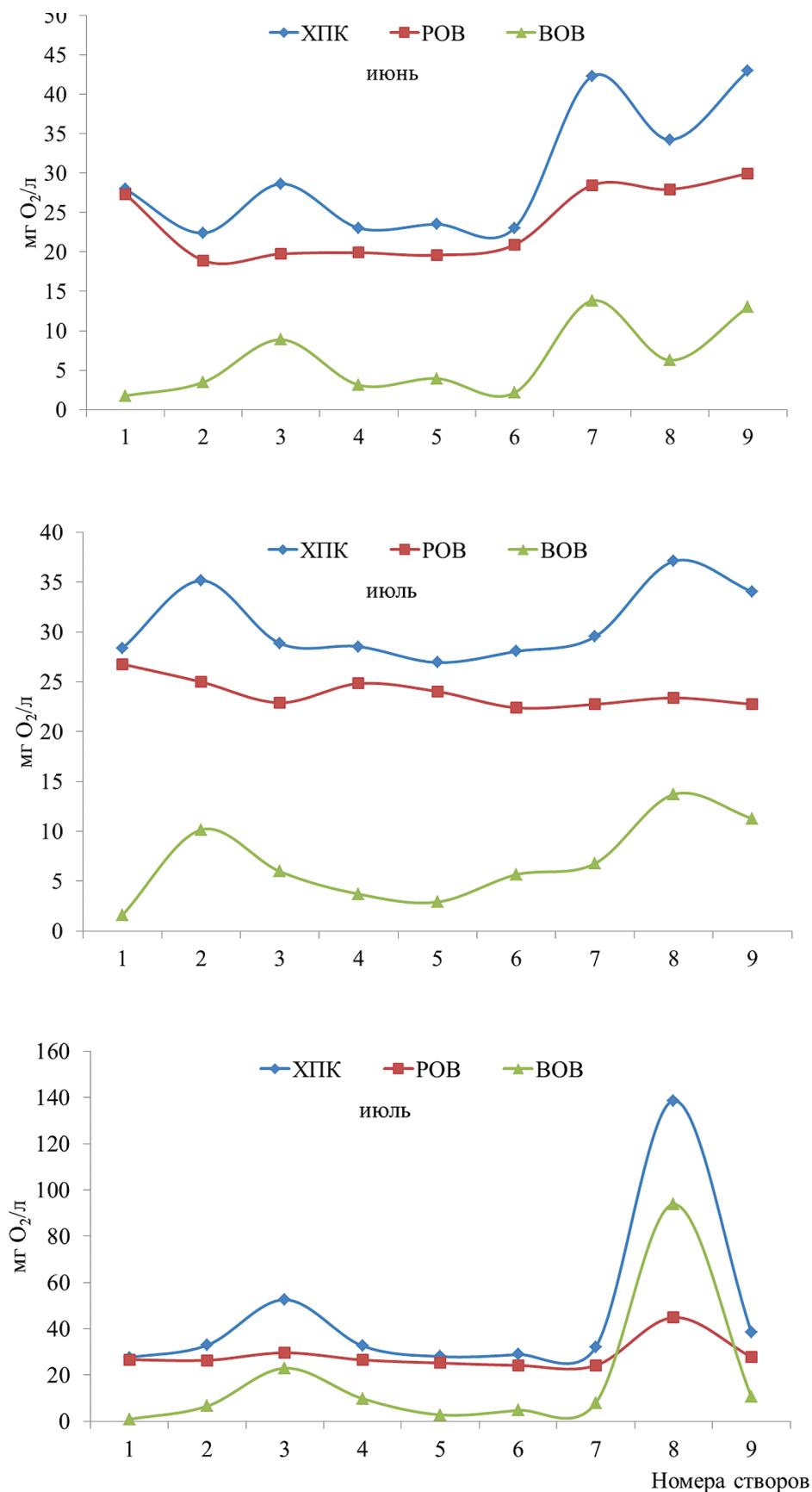


Рис. 4. Распределение общего органического вещества и его фракций на отрезке р. Свисloch в летние месяцы

Fig. 4. Distribution of total organic matter and its fractions on the Svisloch River sections in the summer months

Таблица 1

Корреляционная матрица коэффициентов Спирмена между параметрами органического вещества, содержанием сестона и хлорофилла в водохранилищах и русловых участках реки Свислочь (n=27)

Table 1

Correlation matrix of the Spearman coefficient between the parameters of the organic matter, seston and chlorophyll content in the reservoirs and the river Svisloch sections (n=27)

Параметры	ХПК, мгО ₂ /л	РОВ, мгО ₂ /л	ВОВ, мгО ₂ /л	Хлорофилл <i>a</i> , мкг/л	Сестон, мг/л
ХПК, мгО ₂ /л	1,0	–	–	–	–
РОВ, мгО ₂ /л	0,67*	1,0	–	–	–
ВОВ, мгО ₂ /л	0,89	0,34	1,0	–	–
Хлорофилл <i>a</i> , мкг/л	0,69	0,12	0,81	1,0	–
Сестон, мг/л	0,85	0,31	0,95	0,89	1,0

*Жирным шрифтом обозначены статистически значимые значения, $p < 0,05$

Как следует из представленных материалов, наиболее тесная корреляционная связь проявилась между содержанием хлорофилла *a* и ВОВ – 0,81. Высокая корреляционная связь ХПК с содержанием хлорофилла *a* – 0,69 определяется прежде всего содержанием динамической фракции ВОВ в его составе.

Спектральные характеристики воды на отрезке р. Свислочь в летний период 2016 г. Направление исследований РОВ по спектральным характеристикам в основном получило развитие в морских исследованиях. Работы, касающиеся изучения РОВ пресноводных экосистем, немногочисленны [3]. Первые результаты изучения спектральных характеристик воды озерных водоемов в Беларуси были получены на озерах разного трофического типа (Нарочь, Мясстро, Баторино и Б. Швакшты) [7]. Согласно сформировавшимся общемировым представлениям по применению УФ-спектроскопии, для оценки количественного содержания РОВ автором были использованы коэффициенты светопоглощения α_{254} и α_{280} , а для описания качественного состава коэффициенты экспоненциального наклона $S_{275-295}$ (S1) и $S_{350-400}$ (S2) (уравнения расчета коэффициентов приведены в методах) и их соотношение (Sr), а также соотношения коэффициентов светопоглощения $\alpha_{250}:\alpha_{365}$ (E2:E3), $\alpha_{465}:\alpha_{665}$ (E4:E6). Изменения (E4:E6) отражают ароматичность вещества, а (E2:E3) относительный размер молекул. Было установлено, что коэффициенты светопоглощения α_{254} и α_{280} , соотношение E2:E3, E4:E6 и S1 изменяются согласно трофическому статусу озер, проявляя количественную взаимосвязь с параметрами органического вещества.

Качественный состав ОВ в водотоках, особенно в прибрежной зоне, может быть иным, чем в озерах, в силу возможности присутствия значительных количеств аллохтонного ОВ различного происхождения. Аналогично вышеизложенному алгоритму исследований, были изучены спектральные характеристики нативной (нефильтрованной) и фильтрованной воды водохранилищ и русловых участков рассматриваемого отрезка реки в летний период (июнь – август). В табл. 2 и 3 представлены величины спектральных параметров нефильтрованной воды водохранилищ и русловых участков реки. Значения коэффициентов абсорбции α_{254} и α_{280} в нефильтрованной воде закономерно изменялись вслед за изменением содержания взвешенных и органических веществ. Величины коэффициентов S2 и E4:E6, отражающих временные и пространственные различия качественного состава ОВ воды, оставались практически на близком уровне как в водохранилищах, так и на русловых створах.

Таблица 2

Спектральные параметры нативной воды в водохранилищах р. Свислочь

Table 2

Spectral parameters of native water in the reservoirs of Svisloch River

Водохранилища	Дата	α_{254} , М ⁻¹	α_{280} , М ⁻¹	$E_{250}:E_{365}$ E2:E3	$E_{465}:E_{665}$ E4:E6	S1 $S_{275-295}$	S2 $S_{350-400}$	S1/S2 Sr
Дрозды (за МКАД)	25.07.2016	41,7	31,6	4,33	2,10	0,017	0,009	1,943
	20.06.2016	37,0	27,5	5,01	1,94	0,018	0,009	2,052
	22.08.2016	52,7	38,1	4,12	1,67	0,018	0,006	2,824

Окончание табл. 2
Ending table 2

Дрозды (Веснянка)	20.06.2016	35,7	25,9	4,74	1,58	0,018	0,009	2,024
	22.08.2016	41,7	30,8	5,03	1,88	0,018	0,010	1,791
	25.07.2016	38,0	28,0	4,77	1,89	0,019	0,009	2,079
Заславское	20.06.2016	37,7	27,6	4,61	1,87	0,017	0,010	1,668
	22.08.2016	44,7	33,6	4,25	1,50	0,018	0,008	2,128
	25.07.2016	47,5	36,0	4,23	1,57	0,017	0,008	2,109
Комсомольское	08.06.2016	34,5	25,8	5,52	8,00	0,016	0,013	1,214
	25.07.2016	39,4	29,0	4,12	1,85	0,017	0,009	1,924
Комсомольское	20.06.2016	33,2	24,0	5,17	1,40	0,018	0,009	1,940
	22.08.2016	38,9	28,6	4,27	1,80	0,017	0,009	1,963
Чижовское	25.07.2016	40,5	29,7	3,75	1,53	0,014	0,007	2,022
	20.06.2016	40,1	30,9	3,45	1,47	0,015	0,006	2,359
	22.08.2016	115,2	93,3	2,45	1,78	0,011	0,004	2,562

Таблица 3

Спектральные параметры нативной воды на русловых участках р. Свислочь

Table 3

The spectral parameters of native water in the river Svisloch sections

Участок русла	Дата	α_{254}, M^{-1}	α_{280}, M^{-1}	$E_{250}:E_{365}$ E2:E3	$E_{465}:E_{665}$ E4:E6	S1 S ₂₇₅₋₂₉₅	S2 S ₃₅₀₋₄₀₀	S1/S2 Sr
Ул. Аранская	08.06.2016	32,7	24,9	4,10	4,50	0,019	0,012	1,653
	25.07.2016	41,9	31,1	3,62	1,56	0,016	0,007	2,159
	22.08.2016	42,9	32,4	3,73	1,47	0,017	0,006	2,592
	20.06.2016	—	41,2	0,00	1,46	0,014	0,007	2,016
Канал	25.07.2016	33,2	25,6	4,37	0,33	0,013	0,014	0,894
	20.06.2016	24,0	18,2	4,78	5,50	0,015	0,015	0,983
	22.08.2016	25,3	19,6	3,84	1,74	0,013	0,010	1,227
Футбольный манеж	25.07.2016	37,1	27,5	4,62	1,54	0,017	0,009	1,937
	20.06.2016	34,9	25,8	5,15	2,50	0,019	0,011	1,721
	22.08.2016	40,0	30,5	4,93	1,50	0,015	0,010	1,478
Шабаны	25.07.2016	40,2	32,0	3,06	1,48	0,013	0,005	2,582
	20.06.2016	—	41,1	0,00	1,34	0,012	0,005	2,548
	22.08.2016	40,6	30,9	3,36	2,03	0,015	0,005	2,857

Как следует из результатов, приведенных в табл. 4 и 5, при снижении величин коэффициентов абсорбции фильтрованной воды относительно нативной существенных отличий характера пространственных и временных изменений не наблюдалось. Остальные спектральные характеристики, отражающие качественный состав воды, в пробах нативной воды были ниже, чем в фильтрованной.

В водохранилищах, где заметную роль в формировании ОВ играют внутриводоемные процессы, значения спектральных параметров как нефильтованной, так и фильтрованной воды были несколько выше, чем на русловых участках водотока.

До настоящего времени взаимосвязь между содержанием ОВ и спектральными параметрами воды изучалась только для растворенной фракции органического вещества. Полученные результаты свидетельствуют, что значения коэффициентов абсорбции (α_{254} и α_{280}) нативной воды были закономерно выше, чем фильтрованной. Разница между ними в одной и той же пробе воды может служить показателем содержания взвешенного вещества. На рис. 5 представлен график зависимости между содержанием сестона и разностью величин абсорбции ($\Delta\alpha_{254}$) нативной и фильтрованной воды в водохранилищах р. Свислочь.

Таблица 4

Спектральные параметры фильтрованной воды водохранилищ р. Свислочь

Table 4

Spectral parameters of filtered water in the reservoirs of Svisloch River

Водохранилища	Дата	α_{254}^{λ} , м ⁻¹	α_{280}^{λ} , м ⁻¹	$E_{250}:E_{365}$ E2:E3	$E_{465}:E_{665}$ E4:E6	S1 S _{275–295}	S2 S _{350–400}	S1/S2 Sr
Дрозды (за МКАД)	25.07.2016	36,6	26,5	6,15	3,75	0,019	0,014	1,406
	20.06.2016	32,7	23,4	8,15	–	0,021	0,021	0,985
	22.08.2016	40,7	29,1	6,08	3,00	0,019	0,014	1,381
Дрозды (Веснянка)	20.06.2016	35,0	25,3	5,25	2,08	0,018	0,010	1,913
	22.08.2016	37,1	26,5	6,38	4,33	0,020	0,015	1,367
	25.07.2016	35,1	25,1	6,02	3,20	0,020	0,014	1,482
Заславское	20.06.2016	34,5	24,6	6,78	–	0,020	0,016	1,250
	22.08.2016	40,6	29,9	6,10	3,33	0,020	0,014	1,424
	25.07.2016	43,2	31,8	4,74	1,92	0,018	0,011	1,581
Комсомольское	08.06.2016	30,4	21,9	10,65	–	0,022	0,035	0,620
	25.07.2016	33,4	24,4	5,62	3,00	0,019	0,014	1,354
	20.06.2016	31,6	22,7	7,11	–	0,021	0,018	1,171
	22.08.2016	34,8	24,8	6,00	2,50	0,020	0,012	1,627
Чижевское	25.07.2016	32,7	23,5	5,48	2,25	0,017	0,014	1,269
	20.06.2016	32,2	23,0	7,38	–	0,020	0,020	0,979
	22.08.2016	89,2	69,1	3,24	2,27	0,014	0,007	1,916

Таблица 5

Спектральные показатели фильтрованной воды на русловых участках в р. Свислочь

Table 5

Spectral parameters of filtered water in the river Svisloch sections

Участок русла	Дата	α_{254}^{λ} , м ⁻¹	α_{280}^{λ} , м ⁻¹	$E_{250}:E_{365}$ E2:E3	$E_{465}:E_{665}$ E4:E6	S1 S _{275–295}	S2 S _{350–400}	S1/S2 Sr
Ул. Аранская	08.06.2016	27,8	19,6	12,09	–	0,021	–	–
	25.07.2016	34,8	25,3	5,61	2,22	0,019	0,013	1,497
	22.08.2016	34,4	24,5	5,77	2,29	0,020	0,012	1,637
	20.06.2016	41,9	30,2	5,74	3,40	0,017	0,015	1,151
Канал	25.07.2016	33,9	25,9	4,40	2,33	0,014	0,014	0,987
	20.06.2016	23,4	17,7	5,88	–	0,015	0,022	0,659
	22.08.2016	22,9	17,3	4,85	3,67	0,014	0,016	0,926
Футбольный манеж	25.07.2016	35,5	26,0	4,96	2,83	0,021	0,013	1,642
	20.06.2016	33,2	24,2	6,36	–	0,019	0,019	1,024
	22.08.2016	35,4	25,2	6,71	4,00	0,019	0,015	1,289
Шабаны	25.07.2016	30,7	22,2	6,15	3,20	0,019	0,014	1,361
	20.06.2016	35,8	25,3	6,23	–	0,017	0,015	1,162
	22.08.2016	32,5	23,0	5,67	2,25	0,020	0,012	1,675

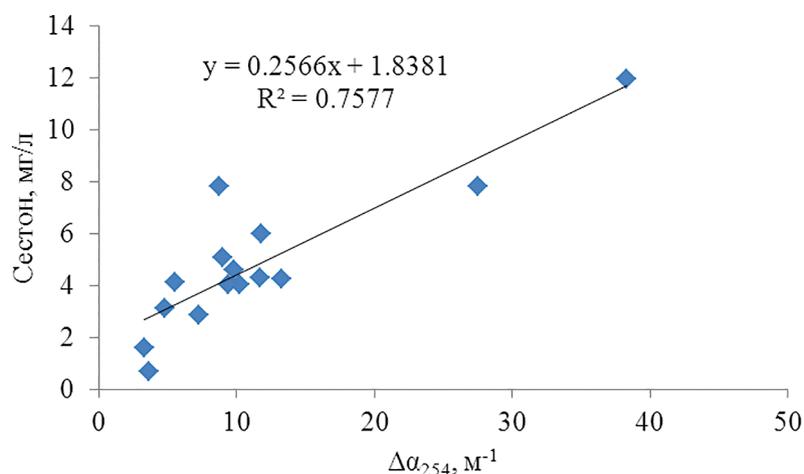


Рис. 5. Связь между общим содержанием сестона и разностью величин α_{254} в нефильтрованной и фильтрованной (1,0 мкм) воде в водохранилищах р. Свислочь (на графике отражены уравнение линейной зависимости и его коэффициент аппроксимации R^2)

Fig. 5. The relationship between the total content of seston and the difference in the values of α_{254} in unfiltered and filtered (1.0 μm) water in reservoirs of Svisloch river (the linear regression equation and its approximation coefficient R^2 is presented on the graph)

Для поиска наиболее значимых взаимосвязей между параметрами органического вещества, получаемых гидрохимическими методами, и спектральными параметрами воды был проведен корреляционный анализ изученных параметров. В табл. 6 представлены величины коэффициента корреляции Спирмена.

Таблица 6

Значения коэффициента Спирмена между спектральными параметрами фильтрованной воды и содержанием органического ВВ в водохранилищах

Table 6

The values of the Spearman coefficient between the spectral parameters of the filtered water and the organic matter content in the reservoirs

Параметры	α_{254}	α_{280}	E2:E3	E4:E6	$S_{275-295}$	$S_{350-400}$	Sr
ХПК, общ., мгО ₂ /л	0,58*	0,57	-0,46	-0,21	-0,64	-0,41	0,35
ВОВ, мгО ₂ /л	0,61	0,58	-0,33	0,15	-0,47	-0,33	0,37
РОВ, мгО ₂ /л	0,52	0,49	-0,30	-0,14	-0,54	-0,20	0,14
РОВ/ВОВ	-0,45	-0,43	0,29	0,20	0,52	0,18	-0,10
Хлорофилл, мкг/л	0,33	0,31	-0,26	0,04	-0,40	-0,18	0,10
Сестон, мг/л	0,47	0,45	-0,42	-0,23	-0,54	-0,31	0,22

*Жирным шрифтом обозначены статистически значимые значения, $p < 0,05$

Сравнительно тесная корреляционная зависимость в водохранилищах в летний период проявилась только между параметрами органического вещества и коэффициентами абсорбции α_{254} , α_{280} , а также коэффициентом экспоненциального наклона S1 ($S_{275-295}$). На протяжении вегетационного сезона 2016 г. коллективом авторов настоящей статьи были выполнены аналогичные наблюдения на озерах разного трофического типа (Нарочь, Мясстро, Баторино и Б. Швакшты). Мы нашли возможным в качестве сравнения привести значения коэффициента Спирмена для озерных водоемов. Взаимосвязь содержания органического вещества со спектральными характеристиками фильтрованной воды (фильтры 1,5 мкм) в озерах разного типа оказалась шире и с более высокими значениями. Обобщенные результаты представлены в табл. 7. Пока нельзя говорить о закономерности различий связи наблюдаемых параметров в озерах и водохранилищах, так как на озерах анализировали больший объем данных за более длительный срок наблюдений. Однако тесная связь содержания всех компонентов ОВ с коэффициентами абсорбции воды озерных водоемов и водохранилищ очевидна.

Значения коэффициента корреляции Спирмена между спектральными характеристиками и параметрами ОВ в фильтрованной воде (фильтры 1,5 мкм) в озерных водоемах

Table 7

The values of the Spearman correlation coefficient between the spectral characteristics and the parameters of OM in filtered water (1.5 μm filters) in lake water bodies

Параметры	α_{254}	α_{280}	E2:E3	E4:E6	S _{275–295}	S _{350–400}	Sr
Сестон, крупноразмерная фракция, мг/л	0,76*	0,75	-0,63	-0,04	-0,67	0,56	-0,77
Сестон, общий, мг/л	0,73	0,72	-0,56	-0,02	-0,69	0,55	-0,79
Сорг., общ., мг/л	0,87	0,87	-0,62	-0,05	-0,84	0,56	-0,80
Сорг., взв., мг/л	0,76	0,75	-0,68	0,05	-0,69	0,49	-0,71
Сорг., раст., мг/л	0,89	0,89	-0,62	-0,06	-0,87	0,52	-0,79

*Жирным шрифтом обозначены статистически значимые значения, $p < 0,05$

Спектральные параметры фильтрованной воды дают характеристику только растворенной фракции ОВ, однако как в озерах, так и в водохранилищах р. Свислочь обнаруживается корреляционная связь спектральных характеристик с содержанием сестона, что не случайно. Живая компонента взвеси обеспечивает постоянное и непрерывное взаимодействие ВОВ – РОВ. Поток вещества по каналу ВОВ – РОВ является важнейшим механизмом функционирования водных экосистем.

Заключение

Таким образом, нами изучена динамика и пространственное распределение общего содержания и компонентного состава органического вещества (РОВ, ВОВ, хлорофилл *a*) в летний период 2016 г. в прибрежной зоне отрезка р. Свислочь (от верховья водотока до выхода из г. Минска в микрорайоне Шабаны). За исключением верхнего створа, водоток сильно эвтрофирован с нарастанием трофности воды вниз по течению. В Чижовском водохранилище в периоды интенсивного «цветения» цианопрокарриотами (синезелеными водорослями) возникает высокий уровень вторичного загрязнения. Впервые в Беларуси оценена информативность спектрального анализа воды как метода для изучения количественных и структурных характеристик ОВ в водохранилищах и речных участках водотока. Установлена закономерная связь между характером спектра абсорбции воды и количественными показателями ОВ в озерах и водохранилищах, где приоритетную роль в формировании общего пула ОВ играют биологические процессы. Для речных участков, где возможно значительное поступление аллохтонного органического вещества, такая связь отсутствует. Дополнительные исследования в этом направлении помогут расширить понимание спектральных характеристик природных вод и их применение для оперативного экологического мониторинга.

Библиографические ссылки

1. SCOR-UNESCO Working group № 17. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. In: *Monographs on Oceanologic Methodology*. UNESCO. Paris: [publisher unknown]; 1966. p. 9–18.
2. Остапеня АП. Полнота окисления органического вещества водных беспозвоночных методом бихроматного. *Доклады АН БССР*. 1965;9(4):273–276.
3. Helms JR, Stubbins A, Ritchie JD, et al. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*. 2008;53:955–969.
4. Weishaar JL, Aiken GR, Bergamaschi BA, et al. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environmental Science Technology*. 2003;37:4702–4708.
5. Chen H, Zheng B, Song Y, et al. Correlation between molecular absorption spectral slope ratios and fluorescence humification indices in characterizing CDOM. *Aquatic Sciences*. 2011;73:103–112.
6. Sokal RR, Rohlf JF. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New-York : W. H. Freeman and Company; 2001. 887 p.
7. Верес ЮК. *Органическое вещество, его компонентный состав и деструкция в воде озер разного трофического типа* [автореферат диссертации]. Минск: [б. н.]; 2013. 23 с.

References

1. SCOR-UNESCO Working group № 17. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. In: *Monographs on Oceanographic Methodology*. UNESCO. Paris: [publisher unknown]; 1966. p. 9–18.
2. Ostapenya AP. Completeness of the oxidation of organic matter of aquatic invertebrates by the method of bichromatic oxidation. *Doklady AN BSSR* [Report of ASci of BSSR]. 1965;9(4):273–276. Russian.
3. Helms JR, Stubbins A, Ritchie JD, et al. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*. 2008;53:955–969.
4. Weishaar JL, Aiken GR, Bergamaschi BA, et al. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environmental Science Technology*. 2003;37:4702–4708.
5. Chen H, Zheng B, Song Y, et al. Correlation between molecular absorption spectral slope ratios and fluorescence humification indices in characterizing CDOM. *Aquatic Sciences*. 2011;73:103–112.
6. Sokal RR, Rohlf JF. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New-York: W. H. Freeman and Company; 2001. 887 p.
7. Veres JuK. *Organicheskoe veshchestvo, ego komponentnyj sostav i destruciya v vode ozer raznogo troficheskogo tipa* [Organic matter, its component composition and destruction in the water of lakes of different trophic type] [PhD thesis]. Minsk: [publisher unknown]; 2013. 23 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 29.03.2019.
Received by editorial board 29.03.2019.

УДК 632.752.3(476)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВРЕДОСПОСОБНОСТИ И ВРЕДНОСТИ ТЕРАТФОРМИРУЮЩИХ ТЛЕЙ-ДЕНДРОБИОНТОВ В ДЕКОРАТИВНЫХ ЗЕЛЕНых НАСАЖДЕНИЯХ БЕЛАРУСИ: ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ С 2007 Г.

Д. Л. ПЕТРОВ¹⁾

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

На основе экспертных оценок 7 параметров выполнены расчеты показателей физиологической вредоспособности, экологически обусловленной (экологической, хозяйственной) и общей вредности 55 видов тератформирующих тлей (Aphidoidea) – вредителей декоративных деревьев и кустарников в условиях зеленых насаждений Беларуси. Максимальными значениями показателей физиологической вредоспособности оказались для немигрирующих видов тлей, которые повреждают растения в течение всего сезона вегетации. Экологически обусловленная вредность максимальна (27 баллов) для тлей *Brachycaudus spiraeae* Bötn., *Colopha compressa* Koch, *Eriosoma ulmi* L., *Myzaphis rosarum* Kalt., *Pemphigus bursarius* L. и *Pemphigus spyrothecae* Pass., тогда как общая вредность люцерновой тли (*Aphis craccivora* Koch) – 229,5 баллов. За более чем десятилетний период увеличились значения показателя физиологической вредоспособности немигрирующих видов тлей, продолжительность развития которых на растениях-хозяевах возросла вслед за увеличением продолжительности вегетационного периода. Значения показателя экологически обусловленной вредности увеличились у *Myzus ligustri* Mosley, *Myzus pruniavium* Bötn. и *Phyllaphis fagi* L. ввиду расширения присутствия в зеленых насаждениях их растений-хозяев. Однако общая вредность *Dysaphis ranunculi* Kalt., *Hyadaphis tataricae* Aiz. и *B. spiraeae* снизилась вследствие массового изъятия повреждаемых ими растений из декоративных зеленых насаждений.

Ключевые слова: декоративные насаждения; Aphidoidea; вредители; интродуценты.

COMPLEX ASSESSMENT OF INJURIOUSNESS AND HARMFULNESS OF TERAT-FORMING APHIDS-PESTS OF ORNAMENTAL WOODY PLANTS IN GREEN AREAS IN BELARUS: CURRENT SITUATION AND ITS CHANGE SINCE 2007

D. L. PETROV^a

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

Based on current expert assessments of 7 parameters, the indexes of physiologically conditioned injuriousness (physiological injuriousness), environmentally conditioned and general harmfulness of 55 species of terat-forming aphids – pests of ornamental woody plants in green areas in Belarus are calculated. The maximum values of indexes of physiological

Образец цитирования:

Петров ДЛ. Комплексная оценка вредоспособности и вредности тератформирующих тлей-дендробионтов в декоративных зеленых насаждениях Беларуси: текущая ситуация и ее изменение с 2007 г. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;2:34–41.

For citation:

Petrov DL. Complex assessment of injuriousness and harmfulness of terat-forming aphids-pests of ornamental woody plants in green areas in Belarus: current situation and its change since 2007. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;2:34–41. Russian.

Автор:

Дмитрий Леонидович Петров – старший преподаватель кафедры зоологии биологического факультета.

Author:

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

injuriousness are for the monoecious aphid species, such as *Cinara pinea* Mordv. and *Cinara pilicornis* Hart., inhabiting woody plants during the entire growing season. Ecologically conditioned harmfulness is maximal (27 points) for *Brachycaudus spiraeae* Börn., *Colopha compressa* Koch, *Eriosoma ulmi* L., *Myzaphis rosarum* Kalt., *Pemphigus bursarius* L. и *Pemphigus spyrothecae* Pass., while general harmfulness – for black legume aphid (*Aphis craccivora* Koch) – 229,5 points. For more than a decade, the index values of the physiological injuriousness of non-migratory species of aphids increased due to increasing of the duration of their development on host plants following the increase of the length of the growing season. The index values of environmentally conditioned harmfulness increased for *Myzus ligustri* Mosley, *Myzus pruniavium* Börn., and *Phyllaphis fagi* L. as a result of increased presence of their host plants in green areas. The general harmfulness of *Dysaphis ranunculi* Kalt., *Hyadaphis tataricae* Aiz. and *B. spiraeae* decreased due to a large-scale removal of their host plants from green areas.

Key words: ornamental plantings; Aphidoidea; pests; introducents.

Введение

В последние десятилетия в Республике Беларусь большое внимание уделяется вопросам поддержания оптимального состояния декоративных зеленых насаждений. Интродукция древесно-кустарниковых растений и введение их в состав зеленых насаждений – активно развивающееся направление в декоративном садоводстве, позволяющее решить вопросы формирования в населенных пунктах, где окружающая среда в значительной мере подвержена интенсивным техногенным и иным антропогенным воздействиям, максимально долговечных, эстетически ценных зеленых насаждений при минимальных экономических затратах. Интродуцированные лиственные и хвойные породы, красивоцветущие кустарники и другие декоративные растения, оказавшись в новом биоценоотическом окружении, так или иначе встраиваются в существующие биотические связи, привнося в их структуру новые элементы. В частности, вслед за своими кормовыми растениями на новые территории проникают и их фитофаги, которые, зачастую, приобретают статус опасных вредителей [1].

За последние десятилетия коренным образом изменилось состояние зеленых насаждений – увеличились их площади, изменились возраст и породный состав, усилился пресс техногенной нагрузки, что не могло не отразиться на энтомофитосанитарной ситуации. Соответствующие изменения структуры комплексов фитофагов и смена в спектрах массовых и высоковредоносных форм грызущих фитофагов сосущими отмечались для зеленых насаждений г. Минска уже в 80-х гг. XX в. [2]. К настоящему времени такие изменения стали еще более масштабными. В значительной мере они обусловлены наблюдающейся в последние десятилетия интенсификацией инвазий фитофагов и других чужеродных для фауны организмов [3].

Тератформирующие тли составляют многочисленную группу вредителей декоративных зеленых насаждений Беларуси [4]. Трофоэкологическая группа тератформирующих тлей-дендробионтов объединяет в своем составе представителей семейств Eriosomatidae и Aphididae надсемейства Aphidoidea (Hemiptera: Sternorrhyncha), питание которых на растениях-хозяевах сопровождается процессами тератогенеза, приводящими к формированию разного рода патологических новообразований, – от неупорядоченных деформаций до галлов строго детерминированного строения. Тераты формируются вследствие локальной гипертрофии и гиперплазии клеток и тканей растений, что ведет к развитию различной формы впячиваний, вздутий, открытых и закрытых галлов на листовых пластинках, черешках и побегах. Выделяясь неестественной формой и окраской, данные повреждения обуславливают утрату декоративными растениями своих эстетических качеств. В дендропитомниках повреждения тератформирующими тлями ведут к снижению сортности и выхода отвечающих требованиям технических условий саженцев, возможна и полная выбраковка продукции вследствие заселенности растений вредителями.

Следует отметить, что зеленые насаждения населенных пунктов играют важное архитектурно-планировочное, эстетическое и рекреационное значение. Деятельность вредителей негативным образом сказывается на выполнении ими данных функций. Количественная оценка вредоносности является сложной задачей, однако были предложены подходы, учитывающие специфику разных трофо-экологических групп фитофагов. В частности, разработанная Е. Г. Мозолева [5] методология оценки вредоносности в декоративных зеленых насаждениях листогрызущих насекомых была использована для оценки вредоносности этих вредителей в условиях г. Москвы [6].

Повреждения тератформирующими фитофагами имеют выраженную специфику, и нами была разработана модификация предложенной Е. Г. Куликовой [7] методики количественной оценки вредоносности кокцид, которая была последовательно применена в отношении тератформирующих тлей [8] и эриофиоидных клещей [9]. Работа по количественной оценке вредоносности тлей была выполнена в 2007 г. Это создает предпосылки для того, чтобы оценить изменения за прошедший период времени.

Материалы и методы исследований

Основу публикации составляют материалы целенаправленных исследований тератформирующих членистоногих, выполнявшихся с 2000 г. во всех административных областях Республики Беларусь, ландшафтно-географических провинциях и районах интродукции древесных растений в Беларуси.

Зооэцидологические обследования, сбор энтомологических, акарологических и гербарных материалов осуществлялся в условиях разнотипных зеленых насаждений путем обследования аборигенных и интродуцированных древесных растений на предмет наличия различных тератоморф. Новообразования коллектировали для дальнейшей камеральной обработки. Поврежденные листья высушивали аналогично обычным гербарным материалам [10]. Крупные объемные галлы во избежание их деформации сушили в мелко просеянном песке. Обнаруживаемых личинок насекомых фиксировали в 70–75° этаноле. Определение тератформирующих тлей верифицировали с использованием определительных таблиц на интернет-портале «Aphids on the World's Plants» [11]. Оценки физиологической вредоспособности, потери декоративности по экологически обусловленным аспектам (хозяйственной, или экологической вредоносности) и общей вредоносности осуществляли по методике, модифицированной нами применительно к тератформирующим тлям [8]. В частности, для расчетов значений вышеперечисленных показателей использовались следующие экспертные оценки:

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

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

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

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

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

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

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

Произведение первых двух параметров дает показатель физиологически обусловленной (физиологической) вредоспособности, произведение остальных четырех – показатель снижения декоративности по экологически обусловленным аспектам (экологической (хозяйственной) вредоносности). Для расчета значений показателя общей вредоносности вышеуказанные показатели следует перемножить между собой и умножить на значение параметра регулярности вспышек массового размножения в течение сезона.

Для установления статистической достоверности различий полученных значений расчетных показателей физиологической вредоспособности, экологической (хозяйственной) и общей вредоносности тератформирующих тлей с ранее (более 10 лет назад) рассчитанными, использовали критерий знаков [12].

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведены значения оценочных параметров, использованных для расчета значений физиологической вредоспособности (экологической, хозяйственной) и общей вредоносности тератформирующих тлей в декоративных зеленых насаждениях Беларуси в настоящее время.

Оценка уровней вредоспособности и вредоносности тератформирующих тлей

Table 1

Estimation of the level of injuriousness and harmfulness of terat-forming aphids

Вид тлей	Тип питания (балл)	Период активности (сутки)	Период активности (балл)	Физиологическая вредоспособность (балл)	Локализация на растениях (балл)	Характер и последствия наносимых повреждений (балл)	Распространенность тлей в насаждениях (балл)	Распространенность и ценность повреждаемых растений (балл)	Экологическая вредоносность (балл)	Наличие и регулярность всплеск массового размножения (балл)	Общая вредоносность (балл)
<i>Anoecia corni</i> Fabricius, 1775	1	90	4,5	4,5	0,5	1,0	3,0	3,0	4,5	3,0	60,8
<i>Aphis craccivora</i> Koch, 1854	1	170	8,5	8,5	0,5	2,0	3,0	3,0	9,0	3,0	229,5
<i>Aphis fabae</i> Scopoli, 1763	1	80	4,0	4,0	0,5	3,0	3,0	2,0	9,0	3,0	108,0
<i>Aphis farinosa</i> Gmelin, 1790	1	80	4,0	4,0	0,5	2,0	3,0	3,0	9,0	3,0	108,0
<i>Aphis frangulae</i> Kaltentbach, 1845	1	80	4,0	4,0	0,5	1,0	3,0	1,0	1,5	2,0	12,0
<i>Aphis grossulariae</i> Kaltentbach, 1843	1	110	5,5	5,5	0,5	3,0	3,0	1,0	4,5	3,0	74,3
<i>Aphis idaei</i> van der Goot, 1912	1	170	8,5	8,5	0,5	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	51,0
<i>Aphis nasturtii</i> Kaltentbach, 1843	1	80	4,0	4,0	0,5	1,0	3,0	1,0	1,5	2,0	12,0
<i>Aphis pomi</i> de Geer, 1773	1	160	8,0	8,0	0,5	2,0	3,0	3,0	9,0	3,0	216,0
<i>Aphis salicariae</i> Koch, 1855	1	80	4,0	4,0	0,5	1,0	1,0	3,0	1,5	1,0	6,0
<i>Aphis sambuci</i> Linnaeus, 1758	1	120	6,0	6,0	0,5	1,0	3,0	1,0	1,5	2,0	18,0
<i>Aphis spiraephaga</i> F.P. Müller, 1961	1	160	8,0	8,0	0,5	2,0	1,0	3,0	3,0	2,0	48,0
<i>Aphis viburni</i> Scopoli, 1763	1	80	4,0	4,0	0,5	3,0	3,0	2,0	9,0	3,0	108,0
<i>Brachycaudus cardui</i> Linnaeus, 1758	1	80	4,0	4,0	0,5	3,0	3,0	1,0	4,5	3,0	54,0
<i>Brachycaudus helichrysi</i> Kaltentbach, 1843	1	80	4,0	4,0	0,5	3,0	3,0	1,0	4,5	3,0	54,0
<i>Brachycaudus spiraeae</i> Börner, 1932	1	170	8,5	8,5	1,0	3,0	2,0	2,0	12,0	2,0	204,0
<i>Chaitophorus populeti</i> Panzer, 1801	1	170	8,5	8,5	0,5	1,0	3,0	1,0	1,5	3,0	38,3
<i>Cinara pilicornis</i> Hartig, 1841	1	170	17	17	0,5	1,0	3,0	3,0	4,5	2,0	153,0
<i>Cinara pinea</i> Mordvilko, 1895	1	170	17	17	0,5	1,0	3,0	1,0	1,5	3,0	76,5
<i>Colopha compressa</i> Koch, 1856	1	60	3,0	1,5	1,0	3,0	3,0	3,0	27,0	2,0	81,0
<i>Cryptomyzus ribis</i> Linnaeus, 1758	1	110	5,5	5,5	1,0	3,0	3,0	1,0	9,0	3,0	148,5
<i>Dysaphis plantaginea</i> Passerini, 1860	1	110	5,5	5,5	1,0	2,0	2,0	1,0	4,0	2,0	44,0
<i>Dysaphis ranunculi</i> Kaltentbach, 1843	1	40	2,0	2,0	1,0	3,0	2,0	2,0	12,0	2,0	48,0
<i>Dysaphis sorbi</i> Kaltentbach, 1843	1	80	4,0	4,0	0,5	3,0	3,0	1,0	4,5	2,0	36,0
<i>Eriosoma lanuginosum</i> Hartig, 1839	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	1,0	3,0	9,0	1,0	18,0
<i>Eriosoma patchae</i> Börner & Blunck, 1916	1	130	6,5	3,3	1,0	3,0	1,0	3,0	9,0	2,0	58,5
<i>Eriosoma ulmi</i> Linnaeus, 1758	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	3,0	3,0	27,0	3,0	162,0
<i>Glyphina betulae</i> Linnaeus, 1758	1	170	8,5	8,5	0,5	1,0	3,0	1,0	1,5	3,0	38,3
<i>Hyadaphis foeniculi</i> Passerini, 1860	1	80	4,0	4,0	1,0	2,0	1,0	2,0	4,0	1,0	16,0
<i>Hyadaphis tataricae</i> Aizenberg, 1935	1	170	8,5	8,5	1,0	3,0	1,0	2,0	6,0	3,0	153,0
<i>Hyalopterus pruni</i> Geoffroy, 1762	1	140	7,0	7,0	0,5	2,0	3,0	1,0	3,0	3,0	63,0
<i>Hyperomyzus lactucae</i> Linnaeus, 1758	1	60	3,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	6,0	3,0	54,0
<i>Kaltenbachiella pallida</i> Haliday, 1838	1	60	3,0	1,5	1,0	3,0	1,0	3,0	9,0	1,0	13,5
<i>Myzaphis rosarum</i> Kaltentbach, 1843	1	130	6,5	6,5	3,0	3,0	1,0	3,0	27,0	1,0	175,5
<i>Myzus cerasi</i> Fabricius, 1775	1	80	4,0	4,0	0,5	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0	24,0
<i>Myzus ligustri</i> Mosley, 1841	1	80	4,0	4,0	0,5	3,0	2,0	2,0	6,0	1,0	24,0

<i>Myzus lythri</i> Schrank, 1801	1	80	4,0	4,0	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	2,0
<i>Myzus pruniavium</i> Börner, 1926	1	100	5,0	5,0	0,5	3,0	3,0	1,0	4,5	2,0	45,0
<i>Pachypappa tremulae</i> Linnaeus, 1761	1	80	4,0	4,0	0,1	3,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,2
<i>Pemphigus borealis</i> Tullgren, 1909	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	1,0	2,0	6,0	1,0	12,0
<i>Pemphigus bursarius</i> Linnaeus, 1758	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	3,0	3,0	27,0	3,0	162,0
<i>Pemphigus populinigrae</i> Schrank, 1801	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	2,0	2,0	12,0	2,0	48,0
<i>Pemphigus protospirae</i> Lichtenstein, 1885	1	60	3,0	1,5	1,0	3,0	1,0	2,0	6,0	2,0	18,0
<i>Pemphigus spyrothecae</i> Passerini, 1856	1	70	3,5	1,8	1,0	3,0	3,0	3,0	27,0	3,0	141,8
<i>Periphyllus testudinaceus</i> Fernie, 1852	1	170	8,5	8,5	0,5	1,0	3,0	3,0	4,5	3,0	114,8
<i>Phorodon humuli</i> Schrank, 1801	1	60	3,0	3,0	0,5	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	3,0
<i>Phyllaphis fagi</i> Linnaeus, 1767	1	170	8,5	8,5	0,5	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	51,0
<i>Prociphilus xylostei</i> de Geer, 1773	1	60	3,0	3,0	0,5	3,0	3,0	2,0	9,0	3,0	81,0
<i>Rhopalomyzus lonicerae</i> Siebold, 1839	1	60	3,0	3,0	0,5	3,0	3,0	3,0	13,5	3,0	121,5
<i>Rhopalosiphum nymphaeae</i> Linnaeus, 1761	1	60	3,0	3,0	0,5	1,0	3,0	3,0	4,5	2,0	27,0
<i>Rhopalosiphum oxyacanthae</i> Schrank, 1801	1	60	3,0	3,0	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,5
<i>Rhopalosiphum padi</i> Linnaeus, 1758	1	60	3,0	3,0	0,5	3,0	3,0	1,0	4,5	3,0	40,5
<i>Tetraneura ulmi</i> Linnaeus, 1758	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	1,0	3,0	9,0	2,0	36,0
<i>Thecabius affinis</i> Kaltenbach, 1843	1	80	4,0	2,0	1,0	3,0	1,0	3,0	9,0	2,0	36,0
<i>Thelaxes dryophila</i> Schrank, 1801	1	80	4,0	4,0	0,5	2,0	3,0	3,0	9,0	3,0	108,0

Данные табл. 1 позволяют констатировать, что максимальные значения показателя физиологической вредоносности отмечены для ряда видов немигрирующих тлей (*A. craccivora*, *A. idaei*, *B. spiraeae*, *Ch. populeti*, *C. pilicornis*, *C. pinea*, *H. tataricae*, *P. testudinaceus*), повреждения которыми регистрируются уже сразу после распускания почек и до окончания сезона вегетации. Однако такой вид тератформирующих тлей, как поздний спирально-галловый пемфиг (*P. spyrothecae*), характеризуется сокращенным биологическим циклом [13], а значит и периодом развития на растениях-хозяевах, причем поврежденные листья досрочно опадают, что приводит к снижению заселенности и поврежденности растений.

Значения экологически обусловленной вредоносности (экологически обусловленной потере декоративности) высоки у тех тератформирующих фитофагов, чьи растения-хозяева являются ценным компонентом декоративных посадок и широко распространены в существующих зеленых насаждениях. К числу таких вредителей декоративных кустарников принадлежит розанная тля *M. rosarum*, повреждающая как широко представленную в насаждениях интродуцированную розу морщинистую (*Rosa rugosa* L.), так и садовые формы и сорта роз, а также фитофаги хвойных – *Cinara* spp.

Низкие значения рассматриваемого показателя характерны для тех тлей, чьи растения-хозяева имеют ограниченную ценность в качестве компонентов декоративных посадок (в том числе ввиду высокой повреждаемости фитофагами) и/или минимально представлены в существующих зеленых насаждениях. Это такие виды тератформирующих тлей-дендробионтов, как *M. lythri*, повреждающий спорадично присутствующую в насаждениях вишню-магалебку (*Prunus mahaleb* L.), либо *P. tremulae* – отмечаемый спорадично и повреждающий малоценную и не рекомендуемую к использованию в зеленом строительстве осину (*Populus tremula* L.).

Максимальное значение (229,5 баллов) показателя общей вредоносности получено для люцерновой тли (*A. craccivora*), повреждающей широко представленные в насаждениях карагану древовидную, или желтую акацию (*Caragana arborescens* Lam.) и робинию обыкновенную, или белую акацию (*Robinia pseudoacacia* L.). Минимальны они для *A. salicariae* (6 баллов) – спорадично регистрируемого вида, характеризующегося легко преодолимыми по окончании развития фитофага на растениях-хозяевах повреждениями.

В табл. 2 сведены данные о физиологической вредоспособности, экологически обусловленной потере декоративности (экологической, или хозяйственной вредоносности) и общей вредоносности тератформирующих тлей в декоративных зеленых насаждениях Беларуси по состоянию на 2007 г. [8] и в настоящее время.

Изменение основных показателей вредоспособности и вредоносности тератформирующих тлей в 2007–2018 гг.

Table 2

Changes in the main indicators of the injuriousness and harmfulness of terat-forming aphids during the period from 2007 to 2018

Вид тлей	Физиологическая вредоспособность (балл)		Экологическая вредоносность (балл)		Общая вредоносность (балл)	
	2007 г.	2018 г.	2007 г.	2018 г.	2007 г.	2018 г.
<i>Anoecia corni</i>	4,0	4,5	4,5	4,5	54,0	60,75
<i>Aphis craccivora</i>	8,0	8,5	9,0	9,0	216,0	229,5
<i>Aphis fabae</i>	4,0	4,0	9,0	9,0	108,0	108,0
<i>Aphis farinosa</i>	4,0	4,0	9,0	9,0	108,0	108,0
<i>Aphis frangulae</i>	4,0	4,0	1,5	1,5	12,0	12,0
<i>Aphis grossulariae</i>	5,0	5,5	4,5	4,5	67,5	74,25
<i>Aphis idaei</i>	8,0	8,5	3,0	3,0	48,0	51,0
<i>Aphis nasturtii</i>	4,0	4,0	0,75	1,5	6,0	12,0
<i>Aphis pomi</i>	8,0	8,0	9,0	9,0	216,0	216,0
<i>Aphis salicariae</i>	4,0	4,0	1,5	1,5	6,0	6,0
<i>Aphis sambuci</i>	6,0	6,0	1,5	1,5	18,0	18,0
<i>Aphis spiraeophaga</i>	8,0	8,0	3,0	3,0	48,0	48,0
<i>Aphis viburni</i>	4,0	4,0	9,0	9,0	108,0	108,0
<i>Brachycaudus cardui</i>	4,0	4,0	4,5	4,5	54,0	54,0
<i>Brachycaudus helichrysi</i>	4,0	4,0	4,5	4,5	54,0	54,0
<i>Brachycaudus spiraeae</i>	8,0	8,5	27,0	12,0	648,0	204,0
<i>Chaitophorus populeti</i>	8,0	8,5	1,5	1,5	36,0	38,25
<i>Cinara pilicornis</i>	16,0	17,0	4,5	4,5	216,0	153,0
<i>Cinara pinea</i>	16,0	17,0	1,5	1,5	72,0	76,5
<i>Colopha compressa</i>	1,5	1,5	27,0	27,0	81,0	81,0
<i>Cryptomyzus ribis</i>	5,0	5,5	9,0	9,0	135,0	148,5
<i>Dysaphis plantaginea</i>	5,0	5,5	2,0	4,0	20,0	44,0
<i>Dysaphis ranunculi</i>	2,0	2,0	27,0	12,0	108,0	48,0
<i>Dysaphis sorbi</i>	4,0	4,0	4,5	4,5	36,0	36,0
<i>Eriosoma lanuginosum</i>	2,0	2,0	9,0	9,0	18,0	18,0
<i>Eriosoma patchae</i>	3,0	3,25	9,0	9,0	54,0	58,5
<i>Eriosoma ulmi</i>	2,0	2,0	27,0	27,0	162,0	162,0
<i>Glyphina betulae</i>	8,0	8,5	1,5	1,5	36,0	38,25
<i>Hyadaphis foeniculi</i>	4,0	4,0	8,0	4,0	32,0	16,0
<i>Hyadaphis tataricae</i>	8,0	8,5	27,0	6,0	648,0	153,0
<i>Hyalopterus pruni</i>	7,0	7,0	3,0	3,0	63,0	63,0
<i>Hyperomyzus lactucae</i>	3,0	3,0	6,0	6,0	54,0	54,0
<i>Kaltenbachiella pallida</i>	1,5	1,5	9,0	9,0	13,5	13,5
<i>Myzaphis rosarum</i>	6,0	6,5	27,0	27,0	162,0	175,5
<i>Myzus cerasi</i>	4,0	4,0	3,0	2,0	36,0	24,0
<i>Myzus ligustri</i>	4,0	4,0	3,0	6,0	12,0	24,0
<i>Myzus lythri</i>	4,0	4,0	0,25	0,5	1,0	2,0
<i>Myzus padellus</i>	4,0	–	3,0	–	24	–
<i>Myzus pruniavium</i>	5,0	5,0	1,5	4,5	15,0	45,0
<i>Pachypappa tremulae</i>	4,0	4,0	0,3	0,3	1,2	1,2
<i>Pemphigus borealis</i>	2,0	2,0	6,0	6,0	12,0	12,0
<i>Pemphigus bursarius</i>	2,0	2,0	18,0	27,0	108,0	162,0
<i>Pemphigus populinigrae</i>	2,0	2,0	6,0	12,0	24,0	48,0
<i>Pemphigus protospirae</i>	1,5	1,5	6,0	6,0	18,0	18,0

<i>Pemphigus spyrothecae</i>	1,5	1,75	18,0	27,0	81,0	141,75
<i>Periphyllus testudinaceus</i>	8,0	8,5	4,5	4,5	108,0	114,75
<i>Phorodon humuli</i>	3,0	3,0	1,0	1,0	3,0	3,0
<i>Phyllaphis fagi</i>	6,0	8,5	1,5	3,0	18,0	51,0
<i>Prociphilus xylostei</i>	3,0	3,0	9,0	9,0	81,0	81,0
<i>Rhopalomyzus lonicerae</i>	3,0	3,0	13,5	13,5	121,5	121,5
<i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	3,0	3,0	4,5	4,5	27,0	27,0
<i>Rhopalosiphum oxyacanthae</i>	3,0	3,0	0,5	0,5	1,5	1,5
<i>Rhopalosiphum padi</i>	3,0	3,0	4,5	4,5	40,5	40,5
<i>Tetraneura ulmi</i>	2,0	2,0	9,0	9,0	36,0	36,0
<i>Thelaxes dryophila</i>	4,0	4,0	9,0	9,0	108,0	108,0

Как следует из данных табл. 2, за прошедший с 2007 г. период выросли значения показателя физиологической вредоспособности немигрирующих видов тлей, в то время как у мигрирующих – нет, поскольку у них расширились сроки развития на травянистых растениях-хозяевах. Для первых это связано, прежде всего, с увеличением периода наличия повреждений, которая напрямую определяется продолжительностью вегетационного сезона, – она выросла в среднем на 9 суток [14], что определяет увеличение параметра продолжительности активности на 0,5 балла (у вредителей хвойных – 1,0 балл). Для проверки статистической достоверности описанных видимых различий (исходя их характера количественных данных) применен критерий знаков [12]. Результаты выполненных расчетов позволяют констатировать наличие статистически достоверных различий значений показателей.

Изменения значений расчетного показателя экологически обусловленной вредоносности, которые увеличились для *M. ligustri*, *M. pruniavium* и *Ph. fagi*, обусловлены прежде всего расширением присутствия в разного типа зеленых насаждениях их растений-хозяев, которые принадлежат к числу ценных декоративных растений. Значение данного расчетного показателя существенно снизилось для *D. ranunculi*, *H. tataricae*, *B. spiraeae*, что связано с произошедшими за более чем десятилетие изменениями структуры зеленых насаждений, осуществившимся массовым изъятием в процессе реконструкции одних древесно-кустарниковых растений (в их числе спирея иволистная (*Spiraea salicifolia* L.), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.) и расширением использования других, не повреждаемых, например, спиреи японской (*Spiraea japonica* L. f.) и др.

Наблюдаемые изменения значений показателей физиологической вредоспособности и экологически обусловленной вредоносности определяют изменения расчетного показателя общей вредоносности. В частности, как следует из данных табл. 2, он увеличился для *A. corni*, *M. pruniavium*, *Ph. fagi*, *Pemphigus spur.* и незначительно для других немигрирующих представителей группы, однако уменьшился для *D. ranunculi*, *H. tataricae*, *B. spiraeae* по рассмотренным выше причинам.

Заключение

По результатам выполненных исследований мы можем сделать следующие выводы:

1. На основе актуальных экспертных оценок выполнены расчеты показателей физиологической вредоспособности, экологически обусловленной и общей вредоносности 55 видов тератформирующих тлей – вредителей декоративных деревьев и кустарников в условиях зеленых насаждений Беларуси, а также осуществлено сравнение с аналогичными данными, полученными более десятилетия назад.

2. Физиологическая вредоспособность оказалась максимальной для немигрирующих видов тлей, продолжительность развития на растениях-хозяевах которых увеличилась вслед за увеличением продолжительности вегетационного периода.

3. Значения показателя экологически обусловленной вредоносности выросли у *Myzus ligustri* Mosley, *Myzus pruniavium* Börn. и *Phyllaphis fagi* L. ввиду расширения присутствия в зеленых насаждениях их растений-хозяев. Экологически обусловленная вредоносность оказалась максимальной (27 баллов) для тлей *Brachycaudus spiraeae* Börn., *Colopha compressa* Koch, *Eriosoma ulmi* L., *Myzaphis rosarum* Kalt., *Pemphigus bursarius* L. и *Pemphigus spyrothecae* Pass., минимальной – для *Pachypappa tremulae* L. (0,3 балла), *Myzus lythri* Schrnk. (0,5 баллов) и *Rhopalosiphum oxyacanthae* (Schrnk.) (0,5 баллов).

4. Показатель общей вредоносности максимален (229,5 баллов) для люцерновой тли (*Aphis craccivora* Koch). Общая вредоносность *Dysaphis ranunculi* Kalt., *Hyadaphis tataricae* (Aiz.) и *B. spiraeae* снизилась вследствие массового изъятия кормовых растений из декоративных зеленых насаждений.

Библиографические ссылки

1. Горленко СВ, Панько НА. *Вредители и болезни интродуцированных растений*. Минск: Наука и техника; 1967.
2. Горленко СВ, Блинцов АИ, Панько НА. *Устойчивость древесных интродуцентов к биотическим факторам*. Минск: Наука и техника; 1988.
3. Алехнович АВ. и др., составители. *Черная книга инвазивных видов животных Беларуси*. Семенченко ВП, редактор. Минск: Беларуская навука; 2016.
4. Буга СВ. *Дендрофильные тли – вредители зеленых насаждений Белоруссии (видовой состав и биологическое обоснование защитных мероприятий)* [автореферат диссертации]. Минск: [б. н.]; 1988.
5. Мозолевская ЕГ, Долженко ЕГ. Оценка вредоносности хвое- и листогрызущих насекомых. *Защита растений*. 1979;4:85–88.
6. Белов ДА. *Грызущие и минирующие листу насекомые зеленых насаждений Москвы*. Москва: Московский государственный университет леса, 2000.
7. Куликова ЕГ. Оценка вредоносности кокцид. *Защита растений*. 1987;10:27–28.
8. Петров ДЛ, Буга СВ. Комплексная оценка уровня вредоносности тератформирующих тлей в декоративных древесных насаждениях. *Защита растений*. 2008;32:305–315.
9. Петров ДЛ. Комплексная оценка уровней вредоносности инвазивных дендрофильных тератформирующих эриофиоидных клещей (*Acariformes: Eriophyidae*) в зеленых насаждениях Беларуси. В: *Зоологические чтения – 2019: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Гродненского зоологического парка*. Гродно: ГрГУ, 2019. с. 218–220.
10. Бридсон Д, Форман Л. *Гербарное дело*. Кью: Королевский ботанический сад; 1995.
11. Blackman R. Aphids on the world's plants [Internet]. [Cited 2019 April 11]. Available from: <http://www.aphidonworldsplants.info>.
12. Зайцев ГН. *Математическая статистика в экспериментальной ботанике*. Москва: Наука, 1984.
13. Буга СВ. *Структура и экологические основы формирования фауны дендрофильных тлей Беларуси* [автореферат диссертации]. Минск: [б. н.]; 2002.
14. Мельник В.И. и др., составители. *Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки Национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь*. Минск; Женева, 2017.

References

1. Gorlenko SV, Pan'ko NA. *Vrediteli i bolezni introdutsirovayrkh rastenij* [Pests and diseases of introduced plants]. Minsk: Nauka i tehnika; 1967. Russian.
2. Gorlenko SV, Blintsov AI, Pan'ko NA. *Ustoychivost' drevesnyrkh introdutsentov k bioticheskim faktoram* [Resistance of introduced woody plants to biotic factors]. Minsk: Nauka i tehnika; 1998. Russian.
3. Alekhnovich AV, et al., compilers. *Chernajaja kniga invazivnyrkh vidov zhivotnrkh Belarusi* [The Black Book of Invasive Animals of Belarus]. Semenchenko VP, editor. Minsk: Belaruskaja navuka; 2016. Russian.
4. Buga SV. *Dendrofil'nye tli – vrediteli zelenyh nasajdenij Belorussii (vidovoi sostav i biologicheskoe obosnovanie zaschitnyh meropriyatij)* [Dendrophilous – aphid greenery pests in Belarus (species composition and biological rationale of protective measures)] [PhD thesis]. Minsk: [publisher unknown]; 1988. Russian.
5. Mozolevskaya EG, Doljenko EG. *Otsenka vredonosnosti rhvoye- i listogryzyschikh nasekomykh* [Evaluation of the harmfulness of conifer- and leaf-eating insects]. *Zaschita rastenii*. 1979;4:85–88. Russian.
6. Belov DA. *Gryzyschie i minirujuschie listvy nasekomyezelenykh yfsazhdenij Moskvy* [Gnawing and mining foliage insects of Moscow green spaces]. Moscow: Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa; 2000. Russian.
7. Kulikova EG. *Otsenka vredonosnykh koktsid* [Assessment of the harmfulness of Coccids]. *Zaschita rastenij*. 1987;10:27–28. Russian.
8. Petrov DL, Buga SV. *Kompleksnaja otsenka urovnja vredonosnosti teratformirujuschikh tley v dekorativnykh drevesnykh nasazhdenijakh* [Complex estimation of teratogenic aphid pestfulness in ornamental green stands]. *Zaschita rastenij*. 2008;32:305–315. Russian.
9. Petrov DL. [Comprehensive assessment of the levels of harmfulness of invasive dendrophilic teratforming eriophyid mites (*Acariformes: Eriophyidae*) in green plantings of Belarus]. In: *Zoologicheskie chteniya – 2019: sbornik statei mejdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii, posvyaschennoi 90-letiyu Grodnenskogo zoologicheskogo parka* [Zoological readings – 2019: a collection of articles of the international scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Grodno Zoo]. Grodno: GrGU, 2019. p. 218–220. Russian.
10. Bridson D, Foreman L. *Gerbarnoe delo* [The herbarium handbook: Revised Edition]. Kew: Royal Botanic Garden; 1995. Russian.
11. Blackman R. *Aphids on the world's plants* [Internet]. [Cited 2019 April 11]. Available from: <http://www.aphidonworldsplants.info>.
12. Zaicev GN. [Mathematical statistics in experimental botany]. Moskva: Nauka; 1984. Russian.
13. Buga SV. [Structure and ecological basis of the formation of the fauna of dendrophilous aphids of Belarus] [PhD thesis]. Minsk: [publisher unknown]; 2002. Russian.
14. Mel'nik VI, et al., compilers. *Agroklimaticheskoe zonirovanie territorii Belarusi s uchedom izmenenija klimata v ramkakh razrabotki Natsional'noy strategii adaptatsyi sel'skogo khazajystva k izmeneniju klimata v Respublike Belarus'* [Agroclimatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change as part of the development of a national strategy for agricultural adaptation to climate change in the Republic of Belarus]. Minsk; Jeneva: [publisher unknown]; 2017.

Статья поступила в редколлегию 28.05.2019.
Received by editorial board 28.05.2019.

УДК 597/599(476)(075.8)

ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРНИТОФАУНЫ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН Г. МИНСКА

Е. К. СВИСТУН¹⁾, А. В. ЖИЛКЕВИЧ¹⁾

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

Проведено исследование структуры сообществ птиц. Практически повсеместное распространение, относительно свободное перемещение, разнообразие трофических связей и сложная пространственная дифференциация определяют птиц как важный компонент биоценозов. Для выяснения степени воздействия урбанизированных территорий на экологию и жизнедеятельность сообществ животных необходимо регулярно проводить мониторинговые исследования. Для определения степени влияния человека на орнитологическое сообщество в урбанизированных условиях проводились исследования и анализ орнитофауны в трех парковых зонах отдыха г. Минска: на территории парка Дрозды, Комсомольского оз. и Лошицкого усадебно-паркового комплекса. В результате выявлено, что наименее подвержены техногенной нагрузке парк Дрозды и Лошицкий усадебно-парковый комплекс, которые расположены вблизи окраин города. Это подтверждается и тем, что в пределах последних зафиксировано наибольшее количество видов (46 и 39 соответственно), высокая плотность птиц и наивысшее значение индекса видового разнообразия. Комсомольское оз. расположено в центре Минска и подвергается интенсивной техногенной нагрузке. Количество видов птиц (22), небольшая плотность населения и низкое значение индекса видового разнообразия – это доказательство того, что экологические условия территории являются неблагоприятными для орнитологического сообщества.

Ключевые слова: птицы; орнитофауна; экологический статус; экологические группы; плотность; видовое разнообразие.

ECOLOGICAL AND FAUNISTIC CHARACTERISTICS OF THE AVIFAUNA OF THE RECREATION ZONES OF MINSK

A. K. SVISTUN^a, A. V. ZHYLKEVICH^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University,
23/1 Daïhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: A. V. Zhilkevich (alenazhilkevich@mail.ru)

The study of the structure of bird communities is of great theoretical value. Almost universal distribution, relatively free movement, variety of trophic connections and complex spatial differentiation define birds as an important component of biocenoses. To determine how much impact the growth of urbanised territories in the animal community must regularly monitor progress. In this regard, in order to determine the degree of human influence on the ornithological community

Образец цитирования:

Свистун ЕК, Жилкевич АВ. Эколого-фаунистическая характеристика орнитофауны рекреационных зон г. Минска. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:42–50.

For citation:

Svistun AK, Zhilkevich AV. Ecological and faunistic characteristics of the avifauna of the recreation zones of Minsk. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:42–50. Russian.

Авторы:

Елена Константиновна Свистун – магистрант кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики.

Алёна Вячеславовна Жилкевич – магистрант кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики.

Author:

Alena K. Svistun, master course student at the department of general ecology, biology and environmental genetics.

svistyn.alena@yandex.by

Aliona V. Zhilkevich, master course student at the department of general ecology, biology and environmental genetics.

alenazhilkevich@mail.ru

in urban conditions, an analysis of the population in three recreation areas of Minsk was carried out. The studies were conducted in the park Drozdy, Komsomol lake and the Loshitsa estate and park complex. As a result, it was found that the least susceptible to anthropogenic load park Drozdy and Loshitsa estate and park complex, which are located near the outskirts of the city. This is confirmed by the fact that there recorded the largest number of species (46 and 39, respectively), high density of birds and the highest value of the index of species diversity. Komsomol lake is located in the center of Minsk and is highly susceptible to anthropogenic and man-made load. The number of species equal to 22, low population density and low value of the index of species diversity suggests that this area is unfavorable for the ornithological community.

Key words: birds; avifauna; ecological status; ecological groups; density; species diversity.

Введение

Птицы составляют часть национального богатства страны. Будучи наиболее многочисленным и широко распространенным классом среди высших позвоночных, а также вследствие особенностей своей биологии, они играют важную роль в природе и в хозяйстве человека. Благодаря своему сложному строению и большой подвижности, птицы уничтожают многих вредных насекомых и мышевидных грызунов, способных к стихийным массовым размножениям и катастрофическому уничтожению урожая или повреждению растительности на огромных пространствах [1].

Польза птиц не ограничивается истреблением или снижением численности вредных насекомых и грызунов. Например, зерноядные птицы фактически приносят пользу уничтожением семян сорняков, а также многие из них истребляют переносчиков заразных болезней [3].

До последнего времени почти не учитывалась роль птиц в медицине. Сейчас уже известно более 40 инфекционных и инвазионных болезней, общих для человека и птиц, механически переносимых последними. Немалую роль в поддержании природных очагов болезней играют болотные и околородные птицы (цапли, кулики, чайки, воробьиные), а также хищные (пустельги, кобчики, совы), питающиеся мышевидными грызунами [10].

В связи с реконструкцией городских застроек постоянно изменяются экологические условия обитания птиц в городе, что отражается в тенденциях изменения структуры популяций городской орнитофауны. Коренным изменениям авиафауны в развивающемся городе в значительной степени способствует антропогенное изменение ландшафтов за пределами города: мелиорация земель, применение пестицидов в сельском и в лесном хозяйствах, изменение возраста и видового состава лесных насаждений, сооружение плотин на реках и т. п. Есть виды птиц, для которых город оказался местом спасения. Их численность в нем стала значительно выше, чем за его пределами. К таким видам можно отнести крякву, полевого жаворонка, полевого воробья, чаек и др. [5]. Для специалистов-экологов птицы города – объект для изучения поведения животных, а также один из показателей изменения в нем экологической ситуации и кардинальной перестройки условий существования животных. В то же время наличие высоких концентраций птиц, соседствующих с человеком, может способствовать переносу различных болезней, что и было установлено в отношении сизых голубей [4].

Значение птиц в природе и хозяйственной деятельности человека разнообразно, поэтому и отношение к ним должно быть различным, но во всех случаях научно обоснованным. Для этого необходимо знать видовой состав птиц, особенности их географического распространения, относительную численность и частоту встречаемости особей каждого вида, распределение видов по биотопам и другие экологические условия их существования, а также особенности размножения, возрастные и сезонные спектры питания каждого вида, сезонные изменения в составе орнитофауны, поведении птиц и т. д. [6].

Орнитологические исследования на территории Республики Беларусь имеют длительную историю. Они начались с конца XIX в. и продолжают до настоящего времени. Наибольший вклад в развитие орнитологии республики внесли такие ученые, как В. Н. Шнитников, А. В. Федюшин, М. С. Долбик, В. В. Гричик, М. Е. Никифоров, А. В. Хандогий.

Исследование структуры сообществ птиц имеет большую общетеоретическую ценность. Практически повсеместное распространение, относительно свободное перемещение, разнообразие трофических связей и сложная пространственная дифференциация определяют их как важный компонент биоценозов. Кроме того, в практическом плане изучение структуры сообществ птиц необходимо для разработки методов управления естественными и искусственными экосистемами, систем мониторинга, создания кадастра животного мира и оценки состояния экосистем.

Очевидно, что птицы в городах – неотъемлемая часть жизни современного мегаполиса, следовательно, изучение городской орнитофауны весьма актуально в наше время [5].

Цель исследования – определение степени влияния антропогенного воздействия на орнитологическое население рекреационных зон г. Минска.

Таким образом, в работе предстояло решить задачи, обусловленные темой исследования: изучение видового разнообразия птиц рекреационных зон г. Минска; установление экологических групп, экологических статусов птиц на территориях их обитания; определение плотности населения орнитофауны, видового богатства, доминирования определенных видов птиц в рекреационных зонах г. Минска.

Материалы и методы исследования

Изучение территорий интенсивной техногенной нагрузки на орнитофауны проводились в парке Дрозды, на Комсомольском оз. и Лошицком усадебно-парковом комплексе.

П а р к Д р о з д ы расположен у северо-западной границы г. Минска. Площадь парка составляет 48 га. В непосредственной близости от парка нет промышленных предприятий и загруженных автомагистралей. Рядом с парком находится одноименное водохранилище и пойма р. Свислочь. Протяженность маршрутного обследования составляла более 3-х км.

К о м с о м о л ь с к о е о з . – искусственный водоем. Образовано плотиной через р. Свислочь, чаша водохранилища является искусственным котлованом. Площадь озера в настоящее время составляет около 0,42 кв. км, длина 1,5 км, ширина до 400 м, средняя глубина 1,9 м (максимальная – 4,5 м). В окрестностях размещается парк Победы, который ограничен проспектами Победителей и Машерова, улицами Орловская и Старовиленский тракт. Площадь парка составляет 200 га. Протяженность маршрутного обследования составляет более 2-х км.

Л о ш и ц к и й у с а д е б н о - п а р к о в ы й к о м п л е к с расположен на юге г. Минска, между микрорайонами Лошица и Серебрянка. Площадь занимаемой территории 100 га. Парк с двух сторон ограничивают реки Лошица и Свислочь. В нем есть как открытые пространства, так и заболоченные места. Протяженность маршрута на территории комплекса составляет 3 км. Коррекция его протяженности устанавливалась с учетом картографических материалов. Учет птиц проводился в утреннее время при удовлетворительных погодных условиях: в отсутствие сильного ветра и обильных атмосферных осадков. В таких условиях птицы наиболее активны. Изучение видового разнообразия птиц проводилось при помощи бинокля и полевого определителя птиц [2; 9; 12].

Полученные данные фиксировались в полевом дневнике: отмечалась дата наблюдений, характеристика биотопа, погодные условия (температура, облачность, наличие ветра и осадков), время начала прохождения маршрута. Далее результаты учета представлялись в табличном виде. В верхнем левом углу таблицы – время начала учета (здесь же обозначено время его окончания). В ее правой верхней части указывается название местообитания (биотопа), в котором будет вестись учет птиц (хвойный лес, фруктовый сад, городские кварталы и т. п.).

При обнаружении птицы в полевом дневнике отмечались: вид птицы, количество особей, приблизительное расстояние до птицы (птиц) в момент обнаружения.

Для определения расстояния рекомендуется выделение четырех групп дальности обнаружения – от 0 до 25 м (близко), от 25 до 100 м (недалеко), от 100 до 300 м (далеко) и от 300 м до километра (очень далеко). Предполагается, что на расстоянии свыше 1 км определить видовую принадлежность птицы затруднительно. Если пользоваться этим стандартом и не планировать более тщательных исследований, то во время учета можно ограничиться определением расстояний до птицы по этим четырем группам, а не в метрах, то есть определять просто – в какой полосе встречена птица: близко, недалеко, далеко или очень далеко [8].

Для проведения статистического анализа полученных данных использовались общепринятые показатели видового разнообразия: индекс видового разнообразия и меры доминирования.

Плотность населения птиц (N) рассчитывается по следующей формуле:

$$N = n / Lb, \quad (1)$$

где n – количество особей конкретного вида; L – общая протяженность учетного маршрута, выраженная в км; b – ширина учетной полосы, км [7].

Для определения видового богатства использовали индекс Маргалефа, который рассчитывается по формуле:

$$D_{Mg} = (S-1) / \ln N, \quad (2)$$

где S – число выявленных видов; N – общее число особей всех S видов.

Чем выше разнообразие в изучаемой выборке, тем выше показатель индекса Маргалефа. Основным преимуществом этого индекса является его информативность и простота вычисления [11].

Индекс разнообразия Бергера–Паркера используется для определения возможных изменений доминирования в различных сообществах птиц и отражает относительную значимость их наиболее обильного вида. Он рассчитывается по формуле):

$$d = N_{\max} / N, \quad (3)$$

где N – общее число особей; N_{\max} – число самого обильного вида.

Значение данного индекса колеблется от 0 до 1. Для облегчения работы с данным показателем обычно используют величину, обратную индексу Бергера–Паркера, соответствующую $1/d$. Поэтому при увеличении индекса возрастает степень видового разнообразия и снижается доминирование одного вида [11].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения орнитологических исследований в рекреационных зонах г. Минска выявлено 56 видов птиц, относящихся к 10 отрядам. На территории парка Дрозды зафиксировано 46 видов птиц, на Комсомольском оз. – 22 вида, в Лошицком усадебно-парковом комплексе – 39 видов.

Таблица

Видовой состав птиц на территориях парка «Дрозды» (I),
Комсомольского оз. (II), Лошицкого усадебно-паркового комплекса (III)

Table

Species composition of birds in the Park «Drozdy» (I), Komsomol lake (II), Loshitsa estate and Park complex (III)

Территория Наименование	I	II	III
1. Сизый голубь (<i>Columba livia</i>)	*	*	*
2. Вяхирь (<i>Columba palumbus</i>)	*	*	*
3. Кряква (<i>Anas platyrhynchos</i>)	*	*	*
4. Речная крачка (<i>Sterna hirundo</i>)	*	*	*
5. Озерная чайка (<i>Larus ridibundus</i>)	*	*	*
6. Серебристая чайка (<i>Larus argentatus</i>)	*	*	—
7. Большая поганка (<i>Podiceps cristatus</i>)	*	—	—
8. Лысуха (<i>Fulica atra</i>)	*	*	*
9. Зук малый (<i>Charadrius dubius</i>)	*	—	—
10. Пестрый (большой пестрый) дятел (<i>Dendrocopos major</i>)	*	—	*
11. Малый дятел (<i>Picoides minor</i>)	—	—	*
12. Вертишейка (<i>Jynx torquilla</i>)	*	—	—
13. Обыкновенная кукушка (<i>Cuculus canorus</i>)	*	—	—
14. Ястреб-перепелятник (<i>Accipiter nisus</i>)	*	—	—
15. Черный коршун (<i>Milvus migrans</i>)	—	—	*
16. Черный стриж (<i>Apus apus</i>)	*	*	*
17. Лесной конек (<i>Anthus trivialis</i>)	*	—	—
18. Обыкновенный скворец (<i>Sturnus vulgaris</i>)	*	*	*
19. Серая ворона (<i>Corvus cornix</i>)	*	*	*
20. Грач (<i>Corvus frugilegus</i>)	*	*	*
21. Обыкновенная галка (<i>Corvus monedula</i>)	*	*	*
22. Обыкновенная сорока (<i>Pica pica</i>)	*	—	*
23. Обыкновенная зеленушка (<i>Carduelis chloris</i>)	*	—	*
24. Городская ласточка (воронка) (<i>Delichon urbica</i>)	*	*	*
25. Ласточка деревенская (<i>Hirundo rustica</i>)	*	—	—
26. Пеночка-теньковка (<i>Phylloscopus collybita</i>)	*	*	*
27. Пеночка-весничка (<i>Phylloscopus trochilus</i>)	*	—	—
28. Пеночка-трещотка (<i>Phylloscopus sibilatrix</i>)	*	—	—
29. Белая трясогузка (<i>Motacilla alba</i>)	*	*	*

Окончание табл.
Ending table

30. Желтая трясогузка (<i>Motacilla flava</i>)	*	—	—
31. Дрозд-рябинник (<i>Turdus pilaris</i>)	*	*	*
32. Певчий дрозд (<i>Turdus philomelos</i>)	*	—	*
33. Коноплянка (<i>Linaria cannabina</i>)	*	—	*
34. Горихвостка-чернушка (<i>Phoenicurus ochruros</i>)	*	—	—
35. Большая синица (<i>Parus major</i>)	*	*	*
36. Черноголовая славка (<i>Sylvia atricapilla</i>)	*	*	*
37. Обыкновенный поползень (<i>Sitta europaea</i>)	*	—	*
38. Московка (<i>Periparus ater</i>)	*	*	*
39. Обыкновенный дубонос (<i>Coccothraustes coccothraustes</i>)	*	—	*
40. Полевой воробей (<i>Passer montanus</i>)	*	*	*
41. Зяблик (<i>Fringilla coelebs</i>)	*	*	*
42. Обыкновенная овсянка (<i>Emberiza citronella</i>)	*	—	*
43. Обыкновенный жулан (<i>Lanius collurio</i>)	*	—	—
44. Камышевка-барсучок (<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>)	*	—	—
45. Пересмешка зеленая (<i>Hippolais icterina</i>)	*	—	—
46. Мухоловка серая (<i>Muscicapa striata</i>)	*	—	*
47. Соловей обыкновенный (<i>Luscinia luscinia</i>)	*	—	—
48. Чечевица обыкновенная (<i>Carpodacus erythrinus</i>)	*	—	—
49. Сойка (<i>Garrulus glandarius</i>)	—	—	*
50. Обыкновенная горихвостка (<i>Phoenicurus phoenicurus</i>)	—	—	*
51. Серая славка (<i>Sylvia communis</i>)	—	—	*
52. Садовая славка (<i>Sylvia borin</i>)	—	—	*
53. Домовой воробей (<i>Passer domesticus</i>)	—	*	*
54. Зарянка (<i>Erithacus rubecula</i>)	—	—	*
55. Черноголовый щегол (<i>Carduelis carduelis</i>)	—	—	*
56. Мухоловка-пеструшка (<i>Ficedula hypoleuca</i>)	—	—	*

Примечание: * – виды, встречающиеся на изучаемых территориях.

Наиболее многочисленным отрядом на всех территориях является отряд Воробьинообразные (*Passeriformes*) – 42 вида (рис. 1). Так же на всех территориях были обнаружены представители отрядов Голубеобразные (*Columbiformes*) – 2 вида, Гусеобразные (*Anseriformes*) – 1 вид, Ржанкообразные (*Charadriiformes*) – 4 вида, Журавлеобразные (*Gruiformes*) – 1 вид и Стрижеобразные (*Apodiformes*) – 1 вид. Отряд Дятлообразные (*Piciformes*) включает в себя 3 вида и отряд Соколообразные (*Falconiformes*) 2 вида. Единичными видами представлены отряды Поганкообразные (*Podicipediformes*) и Кукушкообразные (*Cuculiformes*).

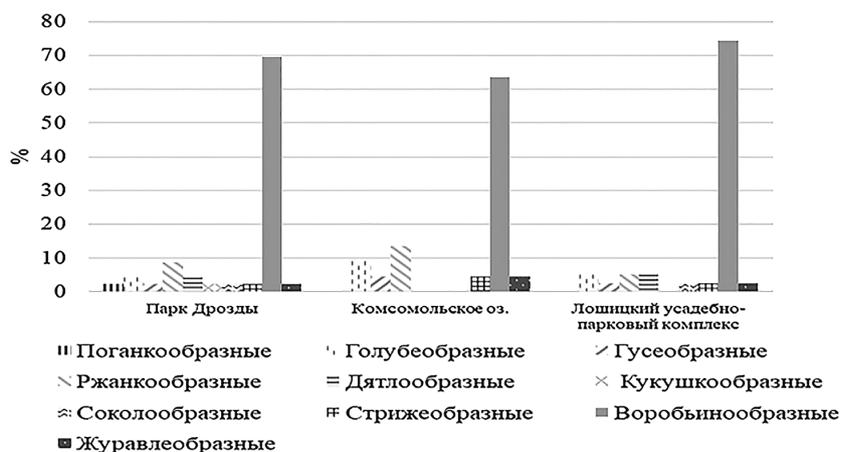


Рис. 1. Соотношение отрядов птиц на исследуемых территориях

Fig. 1. The ratio of bird groups in the studied areas

Орнитологическое население изученных территорий делится на 5 экологических групп: лесные, синантропные, птицы открытых ландшафтов, водно-болотные и околотоводные птицы. Доминирующей группой являются лесные птицы (33 вида), далее идут синантропные виды (11 видов) (рис. 2).

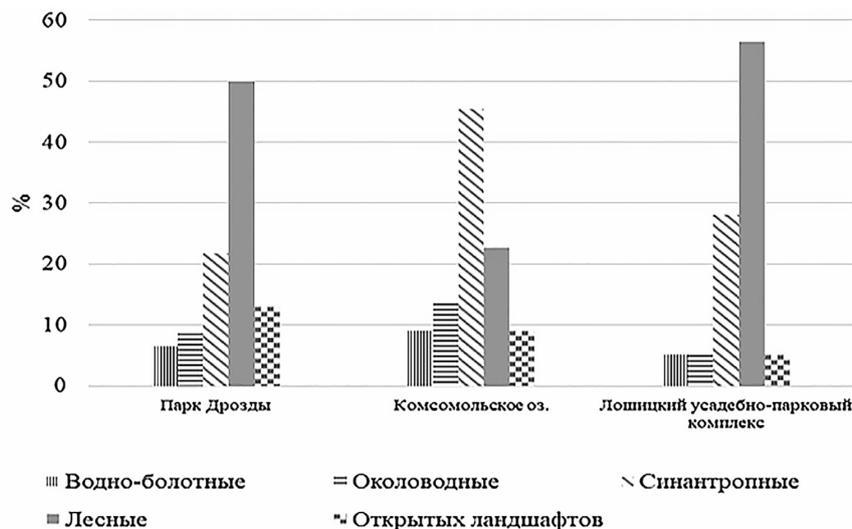


Рис. 2. Экологические группы птиц

Fig. 2. Ecological groups of birds

Преобладание лесных птиц связано с многообразием типов насаждений, хорошо выраженной ярусностью и наличием кустарников в подлеске, где они находят благоприятные места для гнездования и питания, а также могут укрыться от человека. Наличие большого количества синантропных представителей орнитофауны обусловлено тем, что изучаемые пространства находятся на территории рекреационных зон, где люди подкармливают птиц. Наличие водно-болотных (3 вида), околотоводных (4 вида) связано с тем, что на исследуемых территориях расположены водоемы, которые являются местом их обитания.

По экологическому статусу выделяют следующие виды птиц: гнездящиеся, зимующие и мигрирующие. В свою очередь, гнездящиеся виды подразделяются на гнездящиеся оседлые, гнездящиеся перелетные, а также в ограниченном количестве – зимующие виды птиц. К мигрирующим видам относятся мигрирующие и (в ограниченном количестве) – зимующие виды. Из рис. 3 следует, что в зонах отдыха доминируют представители гнездящихся перелетных (27 видов) и гнездящихся оседлых (19 видов) птиц. Кроме того, выявлены единичные виды, относящиеся к мигрирующим, и (в ограниченном количестве) – к зимующим видам.

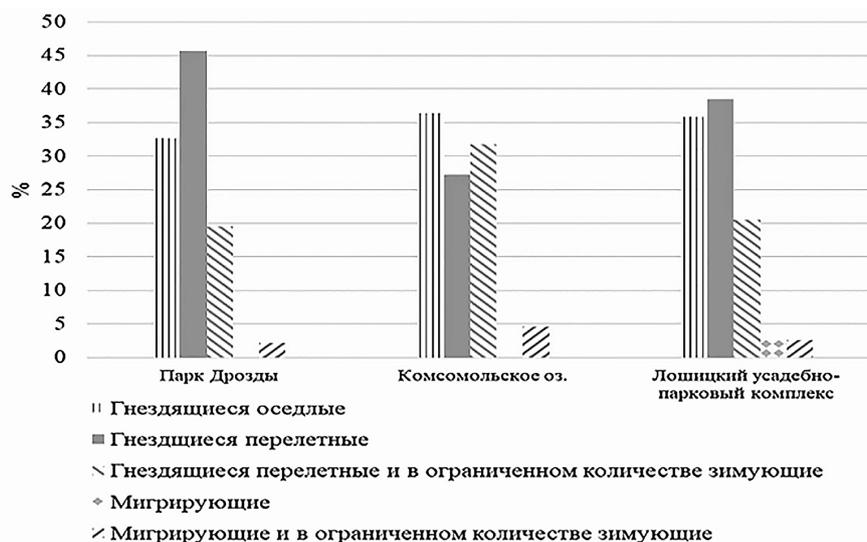


Рис. 3. Экологические статусы птиц

Fig. 3. Ecological status of birds

Суммарная плотность населения орнитофауны указывает на наличие или же отсутствие в парковых зонах благоприятных условий для обитания птиц. Чем больше плотность населения птиц, тем более благоприятные условия обитания птиц в парке. Из рис. 4 следует, что в парке Дрозды наибольшая плотность населения, чем на других территориях, следовательно, на данной территории птицы нашли наиболее комфортное место обитания. Наименьшая плотность на Комсомольском оз., что указывает на неблагоприятные для обитания экологические условия.

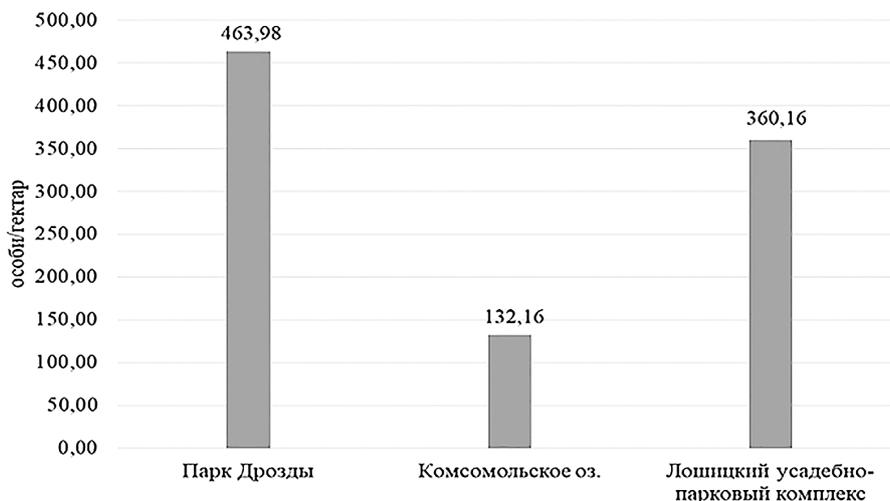


Рис. 4. Плотность населения орнитофауны

Fig. 4. Population density of the avifauna

Один из главных компонентов биоразнообразия – видовое богатство – характеризуется общим числом видов, которое в сравнительных целях выражается как отношение числа видов к числу особей. Для этих целей используется индекс Маргалефа (рис. 5). На графике отражено, что наибольшее значение индекса фиксируется на территории парка Дрозды. Минимальный показатель индекса отмечен на территории Комсомольского оз., что является свидетельством явного экологического дискомфорта для орнитофауны.

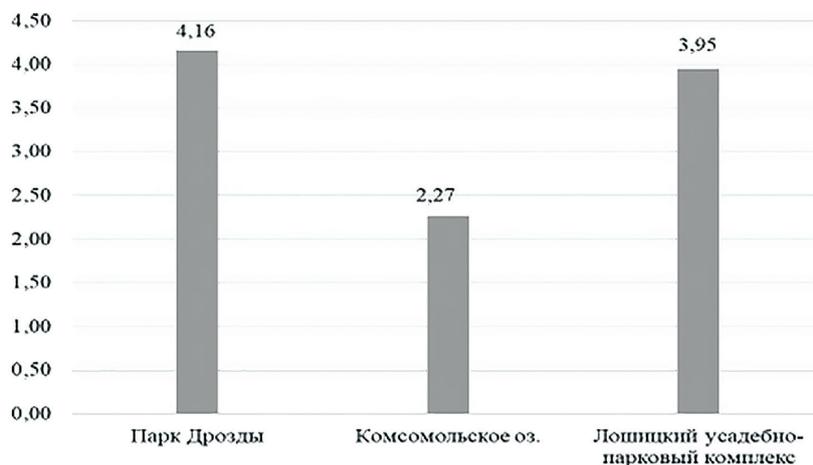


Рис. 5. Показатели индекса видового разнообразия Маргалефа

Fig. 5. Indicators of the Margalef species diversity index

Определение возможных изменений в доминировании и относительной значимости наиболее обильного вида птиц проводилось с помощью индекса Бергера – Паркера. Как следует из рис. 6, доминирование одного, наиболее обильного вида наблюдается в Лошицком усадебно-парковом комплексе. В парке Дрозды значение индекса существенно ниже, а это означает, что на данной территории также присутствует доминирование одного вида, но оно выражено не так отчетливо, как в Лошицком усадебно-парковом комплексе.

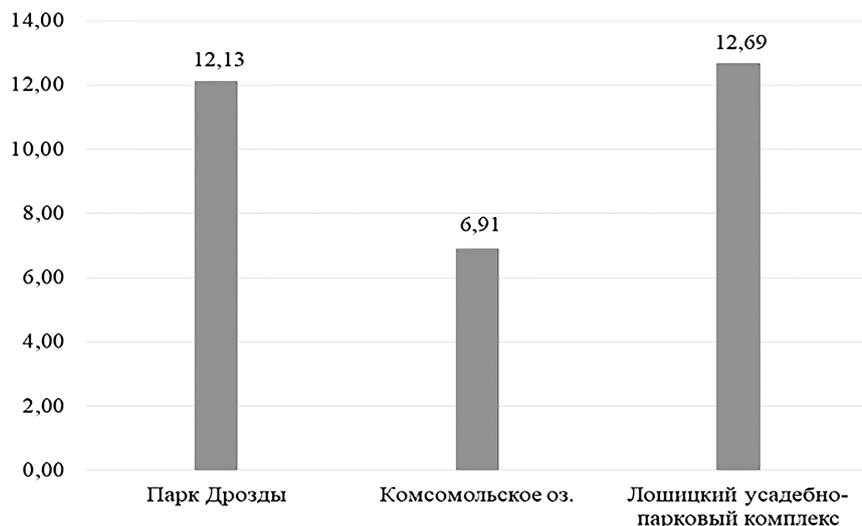


Рис. 6. Показатели индекса доминирования Бергера–Паркера

Fig. 6. Indicators of the index of dominance of Berger–Parke

Заключение

Таким образом, установлено, что в рекреационных зонах г. Минска обитает 56 видов птиц, относящихся к 10 отрядам. Большинство выявленных птиц являются гнездящимися видами. Доминирующими по экологическим группам являются лесные птицы. При анализе орнитофауны на исследуемых территориях выявлено, что на их биоразнообразие приоритетное влияние оказывают экологические условия места их обитания. Так, наиболее экологически благоприятными для обитания птиц являются парк Дрозды и Лошицкий усадебно-парковый комплекс. На это указывает высокая суммарная плотность населения орнитофауны данных парков и высокий показатель индексов Бергера–Паркера и Маргалефа, то есть высокое видовое разнообразие и достаточно однородная численность. Территории этих парков находятся в районах города, которые в минимальной степени подвержены антропогенной нагрузке. Менее привлекательным местом для жизни птиц является Комсомольское оз. Это подтверждается показателями рассчитанных индексов. Несмотря на то что на данном участке расположен остров Птиц, где созданы хорошие условия для их обитания, из-за расположенного рядом парка Победы обитающие там птицы подвержены интенсивному воздействию рекреаторов. Нельзя не отметить близость крупной автомагистрали и автомобильных дорог с большим машинопоток, которые являются источниками загрязнения воздуха и воды выхлопными газами, тяжелыми металлами, а также шумового воздействия. Все это негативно сказывается на расселении и размножении обитающего в парке Победы орнитологического населения.

Библиографические ссылки

1. Благосклонов КН. *Гнездование и привлечение птиц в сады парки*. Москва: МГУ; 1991. 251 с.
2. Вишневский ВВ. *Птицы Европейской части России*. Москва: Эскимо; 2014. 272 с.
3. Вінчэўскі Д. Пуцявод па законах прыроды разам з птушкамі. Мінск: АПБ; 2008. 198 с.
4. Гладков НА. Птицы и пространство. *Русский орнитологический журнал*. 2012;16:1279–1289.
5. Гомель КВ, Пакуль ПА, Хандогий ДА. Городские парки и их роль в сохранении видового разнообразия птиц в осенне-зимний период. В: Ясоев МГ, редактор. *Вопросы естествознания*. Минск: БГПУ; 2010 с. 4–6.
6. Заур Ф. *Птицы – обитатели лугов, полей, лесов*. Москва: АСТ; Астрель; 2002. 286 с.
7. Лебедева НВ, Криволицкий ДА, Пузаченко ЮГ, Дьяконов КН, Смуров АВ. и др. *География и мониторинг биоразнообразия*. Москва: Издательство Научного и учебно-методического центра; 2002. 286 с.
8. Медведев НВ. *Методы количественного учета птиц*. Петрозаводск: ПетрГУ; 2013. 32 с.
9. Миттелло КА. *Птицы. Краткий карманный определитель*. Москва: Эскимо; 2013. 255 с.
10. Остапенко ВА, Бессарабов БФ. *Водоплавающие птицы в природе, зоопарках и на фермах: классификация, биология, методы содержания, болезни, их профилактика и лечение*. Москва: ЗооВетКнига, 2014. 250 с.
11. Хандогий ДА, Гомель КВ. Особенности пространственной структуры птиц при русловых биотопах реки Свислочь и парковых зон Минского мегаполиса. В: Ясоев МГ, редактор. *Вопросы естествознания*. Минск: БГПУ; 2010. с. 3–11.
12. Юсис В, Каралюс С, Раудоникис Л, Винчевский Ф, Левый С. и др. *Определитель птиц*. Минск: РИФТУР ПРИНТ, 2017. 288 с.

References

1. Blagoslonov KN. *Gnezdovaniye i privlecheniye ptits v sady i parki* [Breeding and attraction of birds in the gardens parks]. Moscow: Moscow State University Publishing House; 1991. Russian.
2. Vishnevskiy VV. *Ptitsy Evropejskoj chasti Rossii* [Birds of the European Part of Russia]. Moscow: Eskimo; 2014. 272 p. Russian.
3. Vinchevski D. *Pucjavod pa zakonach pryrody rasam z ptushkami* [Guides to the laws of nature with birds]. Minsk: PBF; 2008. 198 p. Belarusian.
4. Gladkov NA. [Birds and space]. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal*. 2012;16:1279–1289. Russian.
5. Gomel KV, Pakul PA, Khandogiy DA. Urban parks and their role in preserving the species diversity of birds in the autumn-winter period. In: Yasoveev MG, editor. *Voprosy estestvoznania*. Minsk: BGPU; 2010. p. 4–6. Russian.
6. Zauer F. *Ptitsy – obitateli lygov, poley, lesov* [Birds – the inhabitants of the meadows, fields, forests]. Moscow: AST; Astrel; 2002. 286 p. Russian.
7. Lebedeva NV, Krivolutskiy DA, Puzachenko YuG, Diakonov KN, Smurov AV, et al. *Geografija i monitoring bioraznoobrazia* [Geography and monitoring of biodiversity]. Moscow: Publisher Scientific and educational center; 2002. 432 p. Russian.
8. Medvedev NV. *Metody kolichestvennogo ucheta ptits* [Methods of quantitative accounting of birds]. Petrozavodsk: PetrSU; 2013. 32 p. Russian.
9. Mititello KA. *Ptitsy. Kratkiy karmannyj opredelitel'* [Birds. Short pocket guide]. Moscow: Eskimo; 2013. 255 p. Russian.
10. Ostapenko VA, Bessarabov BF. *Vodoglavajuschie ptitsy v prirode, zooparkach i na fermach: klassifikatsiya, biologiya, metody sodержaniya, bolezni, ich profilaktika i lechenie* [Waterfowl in nature, zoos, and on farms: classification, biology, methods of maintenance, disease, their prevention and treatment]. Moscow: ZooVetKniga; 2014. 250 p. Russian.
11. Khandogiy DA, Gomel KV. Features of the spatial structure of birds in the channel biotopes of the river Svisloch and park zones of the Minsk Megapolis. In: Yasoveev MG, editor. *Voprosy estestvoznania*. Minsk: BGPU; 2010. p. 3–11. Russian.
12. Yuis V, Karalys S, Raudonikis L, Vinchevskiy D, Levyj S, et al. *Opredelitel' ptits* [The determinant of birds]. Minsk: RIFTUR PRINT; 2017. 288 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 15.05.2019.
Received by editorial board 15.05.2019.

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 614.841.3

ВЫКАРЫСТАННЕ ГІС-ТЭХНАЛОГІЙ ПРЫ АЦЭНЦЫ РЫЗЫК ЛЯСНЫХ ПАЖАРАЎ НА ТЭРЫТОРЫІ ГОМЕЛЬСКОЙ ВОБЛАСЦІ

А. А. ДВОРНИК¹⁾, А. М. ДВОРНИК²⁾, І. А. ЧЭШЫК¹⁾, С. А. ГАПОНЕНКА¹⁾, В. М. СЕГЛІН¹⁾

¹⁾Інстытут радыябіялогіі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
вул. Фядзюнінскага, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

²⁾Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Ф. Скарыны,
вул. Савецкая, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

Разглядаецца сістэма падтрымкі прыняцця рашэнняў (СППР) для планавання і прафілактыкі надзвычайных сітуацый, звязаных з ляснымі пажарамі. Распрацоўка выконвалася ў межах задання Дзяржаўнай праграмы навуковых даследаванняў «Прыродакарыстанне і экалогія 3.16» на 2016–2018 гг. Інфармацыйная сістэма

Образец цитирования:

Дворник АА, Дворник АМ, Чэшык ІА, Гапоненка СА, Сеглін ВМ. Выкарыстанне ГІС-тэхналогій пры ацэнцы рызык лясных пажараў на тэрыторыі Гомельскай вобласці. *Журнал Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта. Экалогія*. 2019;2:51–59.

For citation:

Dvornik AA, Dvornik AM, Cheshik IA, Haponenko SO, Seglin VN. Estimation of forest fire risks on the territory of Gomel region with GIS technology. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:51–59. Belarusian.

Авторы:

Александр Александрович Дворник – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией моделирования и минимизации антропогенных рисков.

Александр Михайлович Дворник – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры физиологии растений.

Игорь Анатольевич Чешик – кандидат медицинских наук, доцент; директор Института радиобиологии.

Сергей Олегович Гапоненко – научный сотрудник лаборатории моделирования и минимизации антропогенных рисков.

Вероника Николаевна Сеглин – младший научный сотрудник лаборатории моделирования и минимизации антропогенных рисков.

Authors:

Aliaksandr A. Dvornik, PhD (biology), head of laboratory of modelling and anthropogenic risks minimization.

aadvornik@gmail.com

Aliaksandr M. Dvornik, doctor of science (biology), full professor; professor at the department of physiology of plants.

amdvornik@yandex.ru

Ihar A. Cheshik, PhD (medicine), docent; director of Institute of radiobiology.

igor.cheshik@gmail.com

Sergey O. Haponenko, researcher at the laboratory of modelling and anthropogenic risks minimization.

ma2856@mail.ru

Veronika N. Seglin, junior researcher at the laboratory of modelling and anthropogenic risks minimization.

seglinv@mail.ru

Forest Fire 2.0 GIS – гэта кіраванне данымі надвор'я, картаграфічны прагляд даных і візуалізацыя пажарных рызык. Метадалогія даследавання грунтуецца на разліку комплекснага паказчыка пажарнай небяспекі (ППН) у лесе. Вылічэнне комплекснага паказчыка пачынаецца пасля таго, як растае снег, кожны дзень і заканчваецца ў канцы пажаранебяспечнага перыяду – восенню. Выкарыстоўваючы даныя аб колькасці ападкаў і вільготнасці паветра, дадатак разлічвае індэкс метэаўмоў і выдае рэгламент дзеянняў пажарных службаў у адпаведнасці з СТБ 1408-2003. Пры распрацоўцы інфармацыйнай сістэмы выкарыстоўвалася платформа MapWinGis з адкрытым кодам для бібліятэк ActiveX, якая знаходзіцца ў свабодным доступе. Картаграфічныя даныя ўяўляюць сабой файлы ў вектарным фармаце, у якіх захоўваюцца пры неабходнасці ўсе карты, што атрымліваюцца падчас працы модуля.

Ключавыя словы: лясныя пажары; умовы надвор'я; інфармацыйная сістэма; рызык пажараў.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. ДВОРНИК¹⁾, А. М. ДВОРНИК²⁾, И. А. ЧЕШИК¹⁾, С. О. ГАПОНЕНКО¹⁾, В. Н. СЕГЛИН¹⁾

¹⁾*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь*

²⁾*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь*

Рассматривается система поддержки принятия решений (СППР) для планирования и профилактики чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами. Разработка проводилась в рамках задания Государственной программы научных исследований «Природопользование и экология 3.16» на 2016–2018 гг. Информационная система Forest Fire 2/0 GIS включает руководство данными погоды, картографический просмотр данных и визуализацию пожарных рисков. Методология исследования базируется на расчете комплексного показателя пожарной опасности (ППО) в лесу. Вычисление комплексного показателя начинается после полного таяния снега, ежедневно и заканчивается в конце пожароопасного периода – осенью. Используя данные о количестве осадков и влажности воздуха, приложение рассчитывает индекс метеоусловий и выдает регламент действий пожарных служб в соответствии со СТБ 1408-2003. При разработке информационной системы применялась платформа MapWinGis с открытым кодом для библиотек ActiveX, которая находится в свободном доступе. Картографические данные – это файлы в векторном формате, в которых сохраняются при необходимости все карты, получаемые во время работы модуля.

Ключевые слова: лесные пожары; условия погоды; информационная система; риски пожаров.

ESTIMATION OF FOREST FIRE RISKS ON THE TERRITORY OF GOMEL REGION WITH GIS TECHNOLOGY

A. A. DVORNIK^a, A. M. DVORNIK^b, I. A. CHESHIK^a, S. O. HAPONENKO^a, V. N. SEGLIN^a

^a*Institute of radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus,
4 Fiadzjuninskaga Street, Gomel 246007, Belarus*

^b*Francisk Skorina Gomel State University, 104 Saveckaja Street, Gomel 246019, Belarus
Corresponding author: A. A. Dvornik (aadvornik@gmail.com)*

This paper describes the development of a decision support system (DSS) for prevention and planning emergency related to forest fires. The work reported in this article was conducted under the project supported by Belarusian State Program for basic research. The application consist on weather data management, a geographical data viewer and visualization of fire risks. The level of forest fire hazard in Republic of Belarus is estimated by scale based on weather conditions. Calculation of the weather based index starts after the descent of snow cover and continues daily until the end of fire season, in autumn. The software uses data on precipitation amount and air humidity to calculate weather based fire hazard index and gives the recommendations for firefighting officials in accordance with regulations. The development of special application – ForestFire GIS – was based on the MapWinGIS – a free and open source geographic information system programming ActiveX Control. The mapping data are the files in vector format, which store all the maps, obtained during application work.

Key words: forest fires; weather conditions; software; fire risks.

Уводзіны

Колькасць і маштабы лясных пажараў значна вар'іруюць з года ў год, што звязана з сезоннымі метэаралагічнымі ўмовамі. Шматгадовая дынаміка лясных пажараў залежыць ад пажаранебяспечных сезонаў, змянення клімату, дынамікі назапашвання мёртвай біямасы, схільных да пажараў рэгіёнаў краіны, адсутнасці догляду за насаджэннямі.

Асаблівай, з пункту гледжання пажарнай бяспекі, з'яўляецца тэрыторыя радыеактыўнага забруджвання, размешчаная ў Гомельскай вобл. Лясныя масівы на радыеактыўна забруджаных землях займаюць каля 17,4 % ляснога фонду Рэспублікі Беларусь (па стане на 2017 г.) і адносяцца да першага класа прыроднай пажарнай небяспекі. Практычна з моманту аварыі на Чарнобыльскай АЭС у зонах радыеактыўнага забруджвання спынены санітарныя рубкі, што прывяло да значнага павелічэння колькасці лясных паліўных матэрыялаў (ЛПМ). Ліквідацыя ачагоў узгарання на такіх тэрыторыях звязана не толькі з супрацьпажарнымі мерапрыемствамі, але і з захаваннем патрабаванняў радыяцыйнай бяспекі.

На тэрыторыі Рэспублікі Беларусь (у межах 30-кіламетровай зоны ЧАЭС) з 2013 па 2018 год адбылося больш за 40 лясных пажараў. Найбольш буйны з іх здарыўся каля былога населенага пункта Кажушкі. Яго агульная плошча перавысіла 60 га. Шчыльнасць радыеактыўнага забруджвання тэрыторыі па ^{137}Cs перавысіла 1480 кБк/м². У 2002 г. у Гомельскай вобл. было зарэгістравана звыш 400 пажараў з іх 48 – у Чарнобыльскай зоне адчужэння.

Разам з тым, інструмент для колькаснай ацэнкі дынамікі ўтрымання ^{137}Cs на рознай адлегласці ад фронту пажару, а таксама прасторавага пераразмеркавання забруджвання радыенуклідамі ў лясных экасістэмах Рэспублікі Беларусь адсутнічае. Дадзены факт абцяжарвае прыняцце абгрунтаваных гаспадарчых і кіраўніцкіх рашэнняў пры арганізацыі лесапажарнай абароны на тэрыторыях, пацярпелых ад аварыі на Чарнобыльскай АЭС, супрацьрадыяцыйнай абароне персаналу, які ўдзельнічае ў тушэнні лясных пажараў.

У адпаведнасці са стратэгіяй «Навука і тэхналогіі: 2018–2040», перспектыўным напрамкам развіцця для Беларусі ў галіне экалогіі і рацыянальнага прыродакарыстання з'яўляецца распрацоўка шматфункцыянальных і праблемна-арыентаваных геаінфармацыйных і экспертных сістэм для забеспячэння экалагічнай бяспекі. Сусветны вопыт кіравання натуральнымі экасістэмамі дае падставы канстатаваць, што ўсе працэсы ацэнкі рызык і прыняцця кіраўніцкіх рашэнняў грунтуюцца на аналізе прасторавай інфармацыі аб зменах навакольнага асяроддзя. У галіне лясной і радыяцыйнай піралогіі актуальнай задачай з'яўляецца картаванне лясных насаджэнняў (у тым ліку і на радыеактыўна забруджаных тэрыторыях) і ЛПМ. Наяўнасць лічбавых карт паліўных матэрыялаў дазваляе весці ўлік стану лясных экасістэм, ацэнку рызык пажарнай небяспекі [1; 2], велічыню патэнцыяльнага вынасу радыенуклідаў пры пажарах на тэрыторыі з высокім узроўнем радыеактыўнага забруджвання.

З сучасных дзеючых геаінфармацыйных сістэм дыстанцыйнага маніторынгу лясных пажараў можна вылучыць некалькі найбольш характэрных. Еўрапейская інфармацыйная сістэма ўліку лясных пажараў «Капернік» (EFFIS) была запушчана на тэрыторыі Еўрапейскага саюза ў 2000 г.

На тэрыторыі Рэспублікі Комі (Расійская Федэрацыя) дзейнічае інфармацыйна-аналітычная сістэма «Лясныя пажары ў Рэспубліцы Комі 2.0» (gis.rkomi.ru), якая дазваляе вызначаць ачагі пажараў як дзеючыя, так і ліквідаваныя. Інфармацыя прадстаўлена ў адкрытым доступе пры дапамозе сеткі Інтэрнэт ў выглядзе анлайн-сэрвісу.

Сучасныя тэхналогіі збору і апрацоўкі даных аб узгаральнасці лясоў, стане навалнічных разрадаў і метэаралагічныя зводкі дазволілі распрацаваць дзейную інфармацыйную сістэму дыстанцыйнага маніторынгу лясных пажараў Міністэрства прыродных рэсурсаў РФ (ІСДМ МПР РФ). Яе асноўнай задачай з'яўляецца інфармацыйная падтрымка работ па выяўленні і тушэнні лясных пажараў, прадстаўленне інфармацыі і тэхналогій для аналізу наступстваў лясных пажараў у авіяцыйную службу аховы лясоў ад пажараў ФДУ «Авіялесаахова» Федэральнага агенцтва лясной гаспадаркі [3].

Адным з ранніх камп'ютарных дадаткаў для мадэлявання паводзін лясных пажараў з'яўляецца *Farsite*, распрацаваны М. Фінні ў 1998 г. на аснове мадэлі Г. Рычардса [4]. Яго алгарытм выкарыстоўвае прынцып «эліптычнай мадэлі росту лясных франтоў», які змешчаны ў [5]. *Farsite* выкарыстоўваецца ў трох асноўных варыянтах: мадэляванне мінулых вынікаў, актыўных пажараў і патэнцыяльных памылак. Рэтраспектыўны аналіз даных сведчыць аб тым, як сімулятар узнаўляе вядомыя мадэлі развіцця пажараў, што мае вырашальнае значэнне пры выкарыстанні яго ў прагназаванні развіцця рэальных пажараў.

У рамках праекта «Аўтаматызаваная сістэма абароны ад пагроз пажараў і паводак AUTO-HAZARD PRO» была распрацавана сістэма, спонсарам якой з'яўляецца Еўрапейскі саюз [6]. Сістэма распрацоўвалася як інавацыйнае рашэнне, якое аб'ядноўвала кіраванне рызыкамі стыхійных наступстваў

на тэхнічным і адміністрацыйным узроўнях у рэжыме рэальнага часу. Распрацоўка была пратэсціравана ў Паўднёвай Еўропе.

А. Е. Экай з суаўтарамі (Акаў А. Е.) аб'ядналі перавагі ГІС-сістэмы прыняцця рашэнняў (СПР) і прыкладнога сеткавага аналізу, які ўключаў чатыры асноўныя функцыі. Па-першае, гэта ідэнтыфікацыя бліжэйшага пажарнага разліку і ацэнка самага хуткага шляху паміж ім і пажарным інцыдэнтам [7]. Па-другое, праграма здольна карэктываць самы хуткі маршрут ў рэальным часе. Пры ўзнікненні перашкоды маршрут змяняецца з бягучай кропкі. Трэцяя функцыя звязана з прасторавым ахопам (з дапамогай буферызавання) лясных зямель бягучых падраздзяленняў. Чацвёртая функцыя дазваляе ацаніць неабходнасць выкарыстання паветраных сродкаў тушэння пажараў.

З аичинных распрацовак можна адзначыць праграмны комплекс «Разлік і візуалізацыя дынамікі ляснога пажару», які ў рэжыме рэальнага часу дазваляе разлічыць становішча і канфігурацыю ляснога пажару, перыметр і плошчу пашкоджанага лесу [8]. Мэта даследавання – распрацоўка аўтаматызаванай экспертнай сістэмы для аналізу кліматычных умоў і вызначэння рызык узгарання ў лясгасах Гомельскага рэгіёна. Работа была выканана ў межах задання Дзяржаўнай праграмы навуковых даследаванняў «Прыродакарыстанне і экалогія 3.16» на 2016–2018 гг.

Матэрыялы і метады даследавання

Метадалогія распрацоўкі грунтуецца на разліку комплекснага паказчыка пажарнай небяспекі (ППН) у лесе. Яго вылічэнне пачынаецца пасля таго, як растае снег, працягваецца штодня і заканчваецца ў канцы пажаранебяспечнага перыяду – восенню. Паказчык пажарнай небяспекі (ППН), прапанаваны В. Г. Несцеравым, разлічваецца шляхам штодзённага падсумоўвання здабытку тэмпературы паветра t (па сухім тэрмометры) на дэфіцыт вільготнасці паветра d у 12 гадз. мясцовага або 13 гадз. дэкрэтнага часу па формуле:

$$\text{ППН} = \sum_1^n t(t - r),$$

дзе t – тэмпература паветра ў 12 гадз. дня, r – кропка расы, °С

Пры ападках за мінулыя суткі больш за 2,5 мм комплексны ППН спісваецца і на наступны дзень ён будзе роўны паказчыку за гэты дзень. Прадстаўленыя звесткі з'яўляюцца асновай для лесагаспадарчых прадпрыемстваў пры рэгламентацыі працы і мерапрыемстваў па папярэджванні ўзнікнення і распаўсюджвання пажараў.

На тэрыторыі Рэспублікі Беларусь для ацэнкі і прагназавання пажарнай небяспекі ў лесе па ўмовах надвор'я Гідраметэацэнтрам выкарыстоўваецца распрацаваная Н. А. Дзічанковым шкала пажарнай небяспекі [9].

Пры распрацоўцы інфармацыйнай сістэмы ForestFire 2.0 GIS App выкарыстоўвалася платформа MapWinGis з адкрытым кодам для бібліятэкі ActiveX, якая знаходзіцца ў свабодным доступе. Яна можа свабодна інтэгравацца ў любое асяроддзе распрацоўкі, якое падтрымлівае бібліятэка ActiveX. Падчас даследаванняў было выкарыстана асяроддзе аб'ектна-арыентаванага праграмавання Borland Delphi. Прынцыповая схема логікі функцыянавання праграмы прадстаўлена на рыс. 1.

Дадатак мае два функцыянальныя блокі. У дадзеным артыкуле разглядаюцца асаблівасці аднаго блока – ацэнкі пажарнай небяспекі.

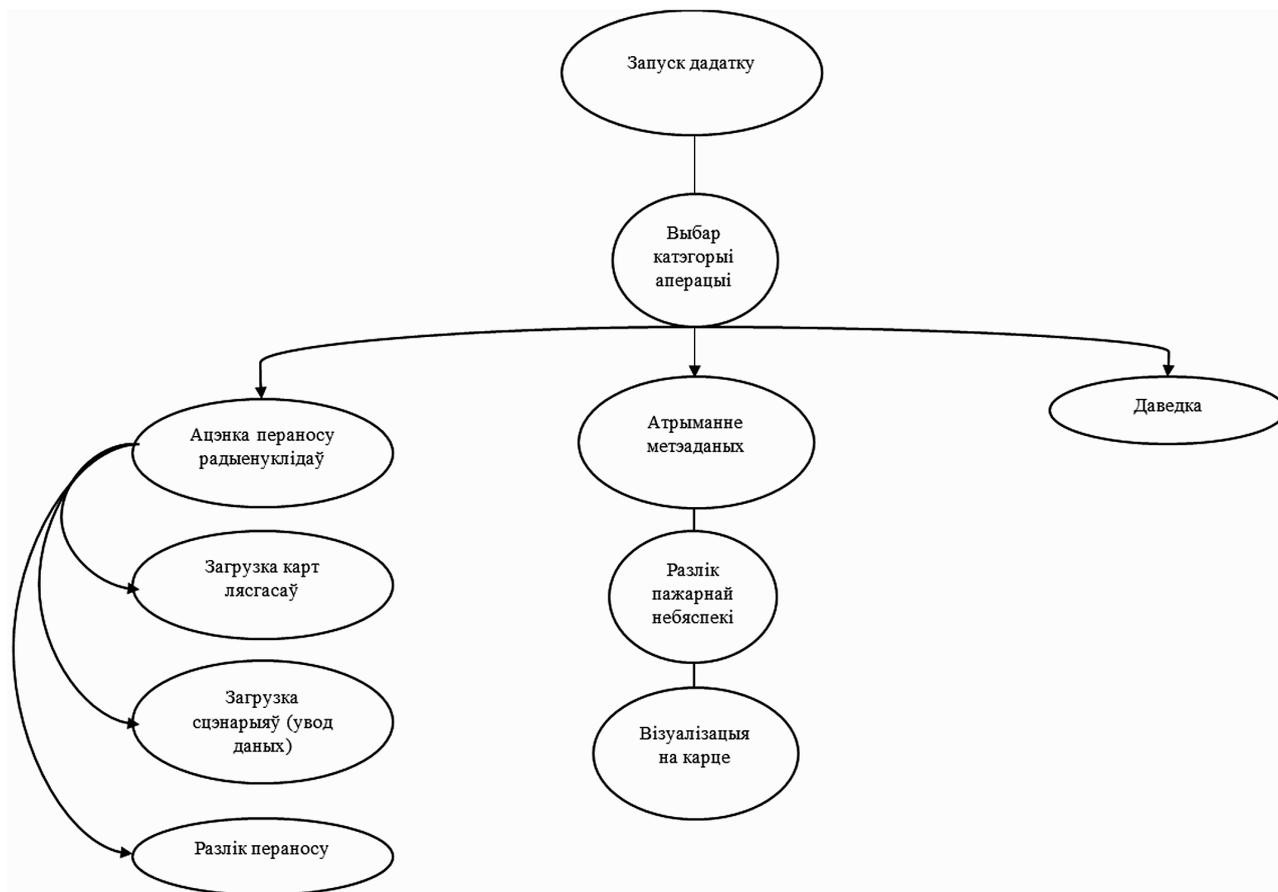
Для атрымання даных для разліку праграма выкарыстоўвае адпраўку HTTP-запытаў да сэрвісаў надвор'я. Выкарыстоўваючы даныя аб колькасці ападкаў і вільготнасці паветра, дадатак разлічвае індэкс пагодных умоў і выдае рэгламент дзеянняў лесапажарных службаў у адпаведнасці з СТБ 1408-2003 [10].

Рэзультаты даследавання і іх абмеркаванне

Дадатак ForestFire 2.0 GisApp уяўляе пашыраную версію інфармацыйна-аналітычнай сістэмы ForestFire v.1.0.1 (2015 г.) [11]. У аснове яе працы ляжыць узаемадзеянне ГІС-модуля (ядро праграмы MapWinGis) з двума функцыянальнымі блокамі:

- ацэнка пажарнай небяспекі ляснога фонду Гомельскай вобл. па індэксе пагодных умоў;
- разлік і візуалізацыя пераносу радыеактыўных рэчываў пры лясных пажарах.

Усе функцыі, якія адказваюць за фарміраванне графічнага карыстальніцкага інтэрфейсу ГІС і розных карт, адлюстраванне або ўтойванне пластоў, змяненне стылю адлюстравання, візуальнае рэдагаванне, рэалізаваны ў ядры MapWinGis.



Рыс. 1. Схема логікі функцыянавання праграмы

Fig. 1. The scheme of program logic

Картаграфічныя даныя ўяўляюць сабой файлы ў вектарным фармаце. У іх захоўваюцца пры неабходнасці ўсе карты, якія атрымліваюцца ў працэсе працы модуля. З такіх файлаў адбываецца загрузка першапачатковай картаграфічнай інфармацыі. База даных з’яўляецца крыніцай ўсёй неабходнай інфармацыі – тып насаджэнняў, іх узрост, запас ЛПМ, а таксама плошча квартала і шчыльнасць радыеактыўнага забруджвання па ^{137}Cs (калі мае месца).

Блок ацэнкі пажарнай небяспекі ляснога фонду змяшчае картаграфічную інфармацыю аб лягсасах Гомельскай вобл. і асацыяваную інфармацыю (назва, плошча і г. д.). Увесь карысны функцыянал модуля падзелены па тыпе выконваемых дзеянняў.

Знешні выгляд карты пажарнай небяспекі, якая атрымана з дапамогай ForestFire, прыведзены на рыс. 2. На рыс. 3 паказаны карыстальніцкі інтэрфейс блока ацэнкі пажарнай небяспекі ляснога фонду. Мінімальны набор функцыянальных элементаў закліканы палегчыць працу карыстальніка. Сярод асноўных элементаў прысутнічаюць меню выбару лягаса і даты. Ніжэй размешчаны тры функцыянальныя кнопкі. Візуалізацыя прасторавай інфармацыі адбываецца на кампаненце Tmap, з дапамогай якога прадугледжана выкарыстанне элементаў бібліятэкі ActiveX.

У працэсе распрацоўкі было рэалізавана каля 50 класаў і звыш за 2000 функцый і метадаў: наяўны набор элементаў графічнага інтэрфейсу, класы для доступу да баз даных і інш. Усё гэта дазваляе шырока выкарыстоўваць магчымасці бібліятэкі ActiveX пры распрацоўцы дадатковых блокаў дадатку.

Праграма выкарыстоўвае файлы, у якіх у вектарным фармаце захоўваецца ўся картаграфічная інфармацыя. ESRI Shapefile або проста Shapefile з’яўляецца папулярным вектарным фарматам даных праграмага забеспячэння для геаінфармацыйных сістэм. Гэты фармат распрацоўваецца ESRI як адкрытая спецыфікацыя для ўзаемадзеяння паміж рознымі праграмнымі сродкамі.

Shapefile (Шэйп-файл) звычайна ўяўляе сабой набор файлаў з наступнымі пашырэннямі: «.shp», «.shx», «.dbf». Яны маюць адно і тое ж імя, аднак кожны з іх з’яўляецца неабходным.

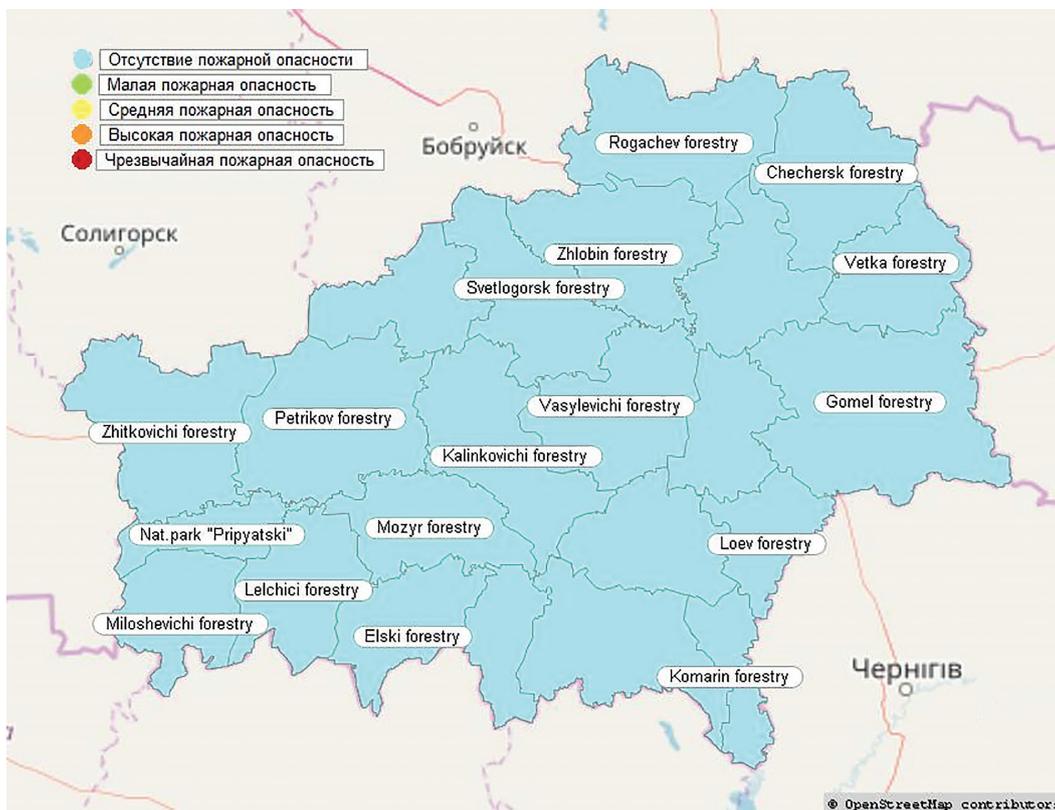


Рис. 2. Карта пожарной небезпекі (па стане на лістапад 2018 г.)

Fig. 2. Map of forest fire hazard (November 2018)

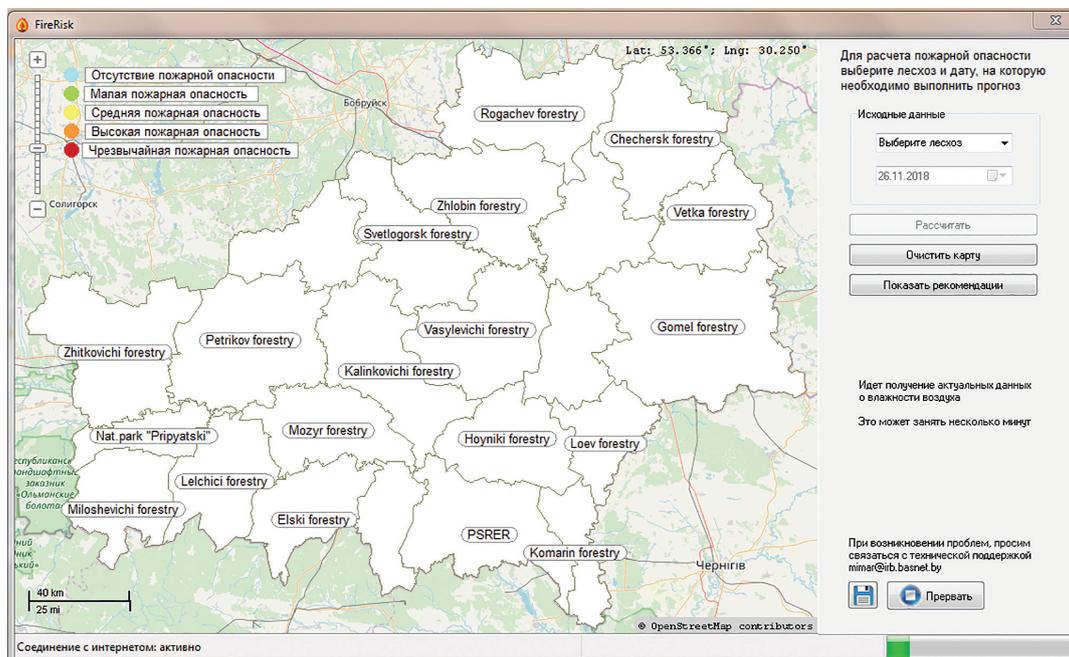
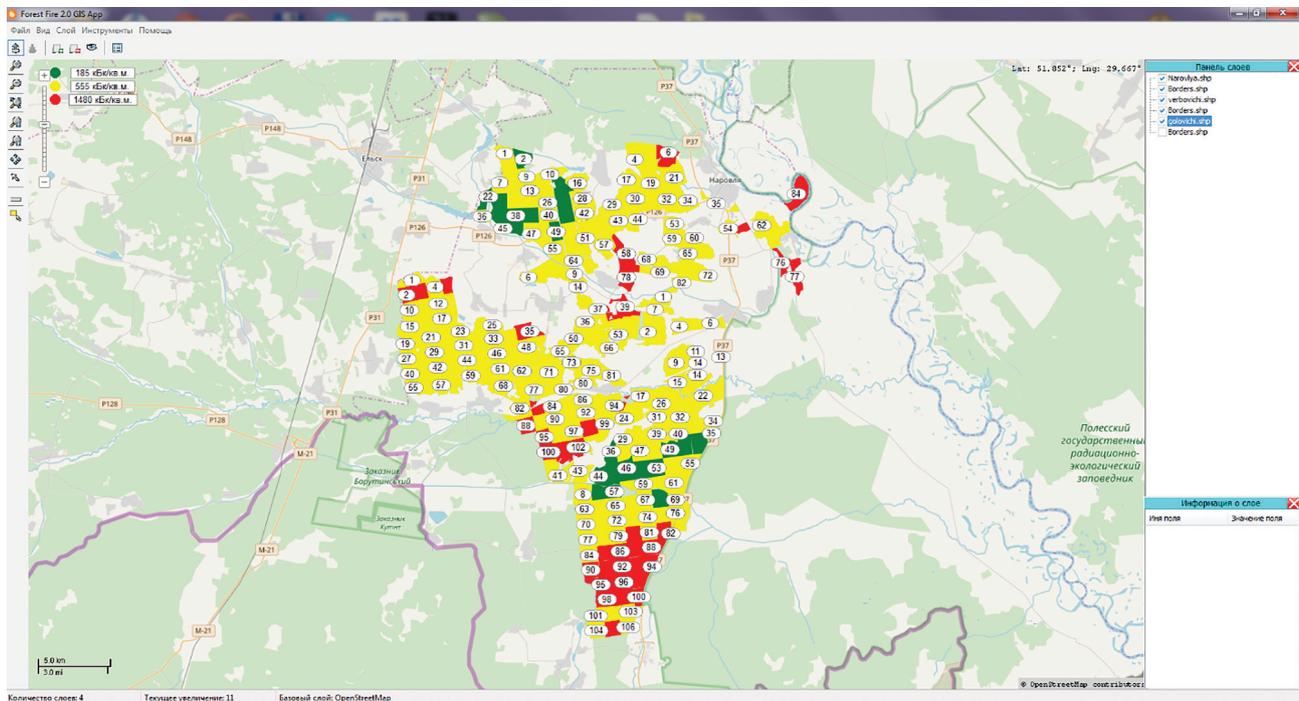


Рис. 3. Приклад працы блока ацэнкі пожарной небезпекі ляснога фонду

Fig. 3. An example of fire risk assessment in Gomel region

Адным з этапаў распрацоўкі была адлічбоўка растравых карт лясніцтваў. У дадатку выкарыстоўваюцца адлічбаваныя карты лясніцтваў у фармаце «.shp». Вектарныя пласты ствараліся пры дапамозе праграмнага прадукту QuantumGIS (Trial) і модуля прывязкі растравых выяў. Такім чынам, стваралася

дакладная вектарная копія карты лясніцтва з прывязкай да рэальных геаграфічных каардынат у праекцыі WGS 84 / Pseudo-Mercator EPSG:3857. На рыс. 4 прыведзены прыклад карты Нараўлянскага спецлясга са з каляровым размежаваннем кварталаў у залежнасці ад шчыльнасці забруджвання тэрыторыі ^{137}Cs .



Рыс. 4. Прыклад адлюстравання Shapefile ў праграме ForestFire GIS App

Fig. 4. An example of Shapefile visualization in ForestFire GIS application

Шэйп-файл змяшчае нетапалагічную геаметрычную і атрыбутыўную інфармацыю для набору аб'ектаў. Геаметрыя аб'екта захоўваецца як форма, якая змяшчае набор вектарных каардынат. Паколькі шэйп-файлы не ўтрымліваюць тапалагічнай надбудовы, яны маюць шэраг пераваг перад іншымі крыніцамі даных, напрыклад, больш хуткая адмалёўка і магчымасць рэдагавання. Шэйп-файлы працуюць з аб'ектамі, якія могуць перакрывацца або зусім не датыкацца. Яны звычайна патрабуюць менш дыскавай памяці і больш простых пры чытанні і запісе.

Шэйп-файлы працуюць з аб'ектамі ў форме кропак, ліній і палігонаў. Палігоны павінны быць прадстаўлены ў выглядзе замкнёных фігур. Атрыбутыўныя даныя ўтрымліваюцца ў фармаце dBase. Кожны запіс базы даных знаходзіцца ў сувязі «адзін к аднаму» з адпаведным запісам аб'екта.

Такім чынам, на дадзенай стадыі распрацоўкі дадатак дае магчымасць:

- працы з характарыстыкамі лясных пажараў на аснове вектарных пластоў карт лясніцтваў;
- выконваць прагноз развіцця радыяцыйна-экалагічнай сітуацыі пры лясных пажарах на радыеактыўна забруджаных тэрыторыях;
- здзяйсняць аўтаматычны разлік бягучага значэння каэфіцыента пажарнай небяспекі з выкарыстаннем іншых даных, загружаных з інтэрнэту, – афарбоўка элементаў вектарнага пласта карты ў адпаведнасці з патрабаваннямі СТБ 1408-2003.

У далейшым плануецца пашырыць існуючы функцыянал і надаць яму новыя магчымасці:

- фарміраванне справаздачы па патэнцыяльных значэннях доз апраменьвання насельніцтва пры ўзнікненні пажару;
- фарміраванне базы даных кліматычных умоў для працы з рэтраспектыўнымі данымі;
- стварэнне дэталёвай распрацоўкі падсістэмы прагназавання развіцця пажару.

Заклучэнне

На сучасны момант дадатак устаноўлены на кафедры лясной гаспадаркі біялагічнага факультэта ва ўстанове адукацыі «Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Ф. Скарыны». Ён праходзіць выпрабавальную праверку ў Гомельскім дзяржаўным вытворчым лесагаспадарчым аб'яднанні.

Такім чынам, акцэнт пры распрацоўцы і тэсціраванні сістэмы ForestFire GIS App зроблены на выяўленні надзённых патрабаванняў карыстальнікаў і разумным праектаванні сістэмы. Яна будзе карысная як у навучальных установах, так і на вытворчых прадпрыемствах лясной гаспадаркі пры яе эксплуатацыі. Неабходна звярнуць увагу на стварэнне прататыпу, які з дапамогай ўсебаковага тэсціравання і дэманстрацыі пераканаў бы карыстальнікаў аб яго надзейнасці і перавагах.

Параўноўваючы ForestFire GIS App з іншымі інфармацыйнымі сістэмамі кіравання пажарамі [12; 13], цалкам відавочна, што існуе шмат значных адрозненняў. Прычына ў тым, што кіраванне ляснымі пажарамі – вельмі шырокая тэма, якая ўключае мноства разнастайных функцый. Функцыі ў інфармацыйнай сістэме кіравання, што заслугоўваюць належнай увагі, шмат у чым адпавядаюць канкрэтным задачам, якія пастаўлены карыстальнікамі. Аднак яны часта значна змяняюцца ў краінах з рознымі кліматычнымі ўмовамі і сацыяльна-эканамічным развіццём грамадства.

Бібліяграфічныя спасылкі

1. Pala S, Taylor D. The foundation for province-wide forest fuel mapping. In: *Proceedings 12th Canadian Symposium on Remote Sensing; July 1989; Vancouver*. Vancouver: [publisher unknown]; 1989. p. 32–38.
2. Ottmar RD., Vihnanek R., Alvarado E. Forest health assessment: air quality tradeoffs. In: *Proceedings 12th International Conference on Fire and Forest Meteorology; 26–28 October 1993; Jekyll Island, Georgia*. Georgia: [publisher unknown]; 1993. p. 47–62.
3. Геоинформационные системы ESRI GIS [Интернет]. [Прочитано 11 октября 2018 г.]. Доступно по: <https://www.esri-cis.ru>.
4. Finney MA. Computational method for optimizing fuel treatment locations. *International Journal Agriculture of Wildland Fire*. 2007; 16:702–711.
5. Finney MA, Ryan KS. Use of the FARSITE fire growth model for fire prediction in US National Parks. In: *Proceedings the International Emergency MGT and Engineering Conference*. Sofia: [publisher unknown]; 1995. 186 p.
6. Kalabokidis K, Xanthopoulos G, Moore P, Caballero D, Kallos G, Llorens J, Roussou O, Vasilakos C. Decision support system for forest fire protection in the Euro-Mediterranean region. *European Journal Forest Research*. 2012; 131:597–608.
7. Akay AE, Wing MG, Sivrikaya F, Sakar D. A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184(3):1391–1407.
8. Баровик ДВ, Таранчук ВВ. Об особенностях адаптации математических моделей вершинных верховых лесных пожаров. *Вестник БГУ. Серия 1. Физика. Математика. Информатика*. 2010;1:138–143.
9. Усеня ВВ, Гордей НВ, Климчик ГЯ, Мухуров ЛИ. О совершенствовании методики расчета комплексного показателя загораемости лесов по условиям погоды в Республике Беларусь. В: *Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития. Материалы международной научно-практической конференции; 9–11 октября 2013 г.; Гомель, Беларусь*. Гомель: [б. н.]; 2013. с. 38–40.
10. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров: *СТБ 1408-2003. Введ. 01.01.04*. Минск: БелГИСС, 2003. 13 с.
11. Дворник АА. Система FORESTFIRE как средство автоматизации расчета пирологических параметров лесных пожаров. В: *Радиация, экология и техносфера. Материалы международной научной конференции; 26–27 сентября 2013 г.; Гомель, Беларусь*. Гомель: [б. н.]; с. 51–53.
12. Butler BW, Finney M, Bradshaw L, Forthofer J, McHugh C, Stratton R, Jimenez D. WindWizard: a new tool for fire management decision support In: *Proceedings of the conference on fuels management – How to measure success*. RMRS-P-41. Ogden. UT: US Department of Agriculture, 2006. 809 p.
13. Lee BS, Alexander ME, Hawkes BC, Lynham TJ, Stocks BJ, Englefield P. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002;37:185–198.

References

1. Pala S, Taylor D. The foundation for province-wide forest fuel mapping. In: *Proceedings 12th Canadian Symposium on Remote Sensing; 1989 July; Vancouver*. Vancouver: [publisher unknown]; 1989. p. 32–38.
2. Ottmar RD, Vihnanek R, Alvarado E. Forest health assessment: air quality tradeoffs. In: *Proceedings 12th International Conference on Fire and Forest Meteorology; 26–28 October 1993; Jekyll Island, Georgia*. Georgia: [publisher unknown]; 1993. p. 47–62.
3. Geoinformational systems ESRI GIS [Internet]. [Cited 2018 October 11]. Available from: <https://www.esri-cis.ru>.
4. Finney MA. Computational method for optimizing fuel treatment locations. *International Journal Agriculture of Wildland Fire*. 2007;16:702–711.
5. Finney MA, Ryan KS. Use of the FARSITE fire growth model for fire prediction in US National Parks. In: *Proceedings the International Emergency MGT and Engineering Conference*. Sofia: [publisher unknown]; 1995. 186 p.
6. Kalabokidis K, Xanthopoulos G, Moore P, Caballero D, Kallos G, Llorens J, Roussou O, Vasilakos C. Decision support system for forest fire protection in the Euro-Mediterranean region. *European Journal Forest Research*. 2012;131: 597–608.
7. Akay AE, Wing MG, Sivrikaya F, Sakar D. A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*. 2012; 184(3):1391–1407.
8. Barovik DV, Taranchuk VB. About the features of crown forest fires math models adaptation. *Vestnik BGU. Seriya 1. Fizika. Matematika. Informatika*. 2010;1:138–143. Russian.

9. Usenya VV, Gordey NV, Klimchik GY, Mukhurov LI. About the improvement of the method for calculating weather based indicator of forest burnability in the Republic of Belarus. In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy jhrany i zashchity lesov v sisteme ustojchivogo razvitiya. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii; 9–11 oktyabrya 2013 g.; Gomel, Belarus* [Modern State of Forest Protection Management in the Frame of Sustainability. Proceeding of the conference; 2013 October 9–11; Gomel, Belarus]. Gomel: [publisher unknown]; 2013. p. 38–40. Russian.

10. Safety in emergency situations. Forest fire monitoring and forecasting. *STB 1408-2003*. Minsk: BelGISS; 2003.13 p. Russian.

11. Dvornik AA. FORESTFIRE system as a tool for calculating pyrological parameters of forest fires. In: *Radiaziya, ekologiya i tekhnosfera. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii; 26–27 sentyabrya 2013; Gomel, Belarus* [Radiation, ecology and technosphere. Proceeding of the conference; 2013 September 26–27; Gomel, Belarus]. Gomel: [publisher unknown]; 2013. p. 51–53. Russian.

12. Butler BW, Finney M, Bradshaw L, Forthofer J, McHugh C, Stratton R, Jimenez D. WindWizard: a new tool for fire management decision support In: *Proceedings of the conference on fuels management—How to measure success. RMRS-P-41*. Ogden, UT: US Department of Agriculture; 2006. 809 p.

13. Lee BS, Alexander ME, Hawkes BC, Lynham TJ, Stocks BJ. Englefield PInformation systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronice in Agriculture*. 2002;37:185–198.

Статья поступила в редколлегию 22.04.2019.

Received by editorial board 22.04.2019.

УДК 57:[618.3:616-005.1]

ВЛИЯНИЕ ДИАДЕНОЗИН ТЕТРАФОСФАТА НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ТРОМБОЦИТОВ БЕРЕМЕННЫХ С ПРЕЭКЛАМПСИЕЙ ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ

А. В. БАКУНОВИЧ¹⁾, Л. М. ЛОБАНОК²⁾, А. И. ЗИНЧЕНКО^{1,3)}, К. Я. БУЛАНОВА¹⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусский государственный университет,

ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный медицинский университет,
пр. Дзержинского, 83, 220116, г. Минск, Беларусь

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

Образец цитирования:

Бакунович АВ, Лобанок ЛМ, Зинченко АИ, Буланова КЯ. Влияние диаденозин тетрафосфата на функциональную активность тромбоцитов беременных с преэклампсией при окислительном стрессе. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:60–67.

For citation:

Bakunovich AV, Lobanok LM, Zinchenko AI, Bulanova KYa. Diadenosine tetraphosphate effect on the functional activity of pregnant women with pre-eclampsia at oxidative stress. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:60–67. Russian.

Авторы:

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

Леонид Михайлович Лобанок – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор медицинских наук, профессор; профессор кафедры нормальной физиологии.

Анатолий Иванович Зинченко – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор; заведующий лабораторией молекулярной биотехнологии; профессор кафедры экологической химии и биохимии.

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

Authors:

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

andy.bakunovich@gmail.com

Leonid M. Lobanok, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, doctor of science (medicine), full professor; professor at the department of normal physiology.

Anatoly I. Zinchenko, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, doctor of science (biology), full professor; head of the laboratory of molecular biotechnology; professor at the department of ecological chemistry and biochemistry. *zinch@mbio.bas-net.by*

Klaviya Ya. Bulanova, PhD (biology), docent; associate professor at the department of ecological chemistry and biochemistry. *bulanova_home@tut.by*

В результате исследований у беременных женщин с преэклампсией не удалось обнаружить достоверного повышения степени агрегации в ответ на действие пероксида водорода, по сравнению с физиологически протекающей беременностью. В экспериментах *in vitro* выявлено, что диаденозин тетрафосфат снижает степень и скорость агрегации тромбоцитов, индуцированных пероксидом водорода у беременных женщин с физиологической беременностью и преэклампсией.

Ключевые слова: преэклампсия; тромбоциты; агрегация; пероксид водорода; диаденозин тетрафосфат.

DIADENOSINE TETRAPHOSPHATE EFFECT ON THE FUNCTIONAL ACTIVITY OF PREGNANT WOMEN WITH PRE-ECLAMPSIA AT OXIDATIVE STRESS

A. V. BAKUNOVICH^a, L. M. LOBANOK^b, A. I. ZINCHENKO^{a,c}, K. Ya. BULANOVA^a

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

^bBelarusian State Medical University,

83 Dzarzhinskaga Avenue, Minsk 220116, Belarus

^cInstitute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
2 acad. V. F. Kuprevich, Minsk 220141, Belarus

Corresponding author: andy.bakunovich@gmail.com

Pregnant women with pre-eclampsia have no significant increase in the degree of platelet aggregation in response to the action of hydrogen peroxide, compared with a physiologically occurring pregnancy. *In vitro* experiments revealed that diadenosine tetraphosphate reduces the degree and rate of platelet aggregation induced by hydrogen peroxide in pregnant women with physiologically occurring pregnancy and pre-eclampsia.

Key words: pre-eclampsia; platelets; aggregation; hydrogen peroxide; diadenosine tetraphosphate.

Введение

Преэклампсия – это мультисистемное расстройство беременности, характеризующееся гипертонией, протеинурией, отеками беременных и повышенной агрегацией тромбоцитов. Риск возникновения данного осложнения наиболее велик при активации процессов, вызванных стрессами (психогенными, бытовыми, техногенными и ионизирующим излучением). Патологические признаки преэклампсии включают активацию коагуляционного каскада, вазоконстрикцию, приводящую к материнской гипертонии и уменьшенному маточно-плацентарному кровотоку, а также нарушенную целостности и проницаемости сосудистого эндотелия. Предполагается, что оксидативный стресс (ОС), проявляемый на молекулярном уровне, ведет к повышенной продукции окислительных метаболитов, коррелируя с тяжестью клинического течения патологии [1]. ОС можно определить как дисбаланс между продукцией активных форм кислорода (АФК) и возможностями антиоксидантной защиты организма.

В настоящее время известно, что протекание многих клеточных процессов невозможно без участия АФК. Практически все клетки генерируют активные формы кислорода и содержат системы, строго контролируемые их уровень [2]. В норме между прооксидантной и антиоксидантной системами удерживается равновесие, а повреждающее окисление становится возможным только при избыточном образовании свободных радикалов и/или нарушении антиоксидантной защиты организма.

Пероксид водорода, как наиболее стабильная молекула из известных АФК, с одной стороны, может выступать в качестве вторичного мессенджера в клеточной биосигнализации. Его физиологическая роль установлена для различных клеток, включая тромбоциты, лейкоциты, гепатоциты, эндотелиальные клетки и моноциты [2]. Эта молекула играет важную роль в клеточной пролиферации и дифференцировке, участвует в регуляции сигнальных ферментов и транскрипционных факторов, миграции и апоптозе. С другой стороны, в силу того, что все АФК являются окислителями клеточных компонентов в больших концентрациях, свободные радикалы необратимо повреждают клетки. Деструктивное действие заключается в окислительной модификации мембранных белков и липопротеинов низкой плотности, а также повреждении ДНК [3].

Предполагается, что тромбоциты обладают высокой чувствительностью к токсинам, продуктам обмена плода и активным формам кислорода, реакция на которые приводит к функциональным пере-

стройкам, в частности к изменениям агрегационной способности тромбоцитов в ответ на многие физиологические инициаторы агрегации. При изменении структурно-функционального состояния эндотелиальных клеток и их дисфункции при преэклампсии, естественно, нарушается выработка эндотелием многих релаксантов, включая NO и фактор деполяризации. Практика использования при преэклампсии инициаторов продукции NO, способных вызвать расслабление сосудов и снижение тромбоцитарной активности за счет стимуляции синтеза цГМФ в гладкомышечных клетках и тромбоцитах, не привела к ожидаемым результатам [4]. Это вызывает необходимость выявления и испытания других соединений, пригодных для снижения агрегационной способности тромбоцитов, при этом не приводящих к нежелательным последствиям при беременности.

Перспективным соединением для этих целей может служить диаденозин-5',5'''-P¹,P⁴-тетрафосфат (Ar₄A), содержащийся в плотных гранулах тромбоцитов [5]. Являясь молекулой, которая включена в процессы восстановления, коррекции и защиты как на клеточном, так и на организменном уровне, Ar₄A способна проявлять регуляторные функции на разных уровнях организации. Внутри клетки Ar₄A выступает в роли вторичного мессенджера, инициирует репарацию ДНК, участвует в механизмах апоптоза и агрегации-деагрегации тромбоцитов, выполняет роль алармона в клеточном ответе на стресс [6], тем самым повышая выживаемость клеток. Функции Ar₄A вне клетки обусловлены взаимодействием с P2Y₁ и P2Y₁₂ пуринорецепторами, расположенными на поверхности тромбоцитов [5].

Цель исследования: оценить роль окислительного стресса в процессах активации тромбоцитов беременных женщин с преэклампсией, а также возможность участия диаденозин тетрафосфата в регуляции тромбоцитарной активности при H₂O₂-индуцированной агрегации тромбоцитов.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования. Кровь беременных женщин с физиологически протекающей беременностью, составивших контрольную группу (24 пациентки), и беременных женщин с преэклампсией умеренной степени (23 пациентки). 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).

Исследование агрегации тромбоцитов. Кинетику агрегации тромбоцитов регистрировали путем измерения светопропускания с применением анализатора агрегации AP2110 (ЗАО «СОЛАР», Беларусь). Обогащенную тромбоцитами плазму (ОТП) крови беременных женщин с физиологически протекающей беременностью и беременных с преэклампсией выделяли при комнатной температуре. ОТП получали центрифугированием цитратной крови при 200 g в течение 5 мин. Бестромбоцитарную плазму (БТП) получали центрифугированием крови при 650 g в течение 15 мин. Количество тромбоцитов в ОТП доводили до $2 \cdot 10^8$ кл/мл разбавлением БТП. В кювету анализатора вносили 400 мкл ОТП, инкубировали при 37 °С при постоянном перемешивании в течение 3 мин, а затем индуцировали агрегацию тромбоцитов добавлением пероксида водорода в концентрациях $1,22 \cdot 10^{-5}$ – $2,44 \cdot 10^{-3}$ М. В качестве дезагреганта использовали диаденозин-5',5'''-P¹,P⁴-тетрафосфат в концентрациях $1,83 \cdot 10^{-7}$ М, $3,66 \cdot 10^{-7}$ М, $7,32 \cdot 10^{-7}$ М.

Обработка данных. Статистический анализ результатов проводился с помощью программы Statistica 10.0. Закон распределения экспериментальных данных оценивался по критерию Шапиро–Уилка. Результаты представлены в виде Me [P25–P75]. Достоверность различий между параметрами степени (Т, %) и скорости (V, %/мин) агрегации тромбоцитов оценивалась по U-тесту Манна–Уитни. Различия рассматривались как статистически достоверные при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Наличие в тромбоцитах микропероксисом, обеспечивающих эндогенный синтез пероксида водорода и его выделение в кровь в ходе реакции освобождения, указывает на участие АФК в регуляции агрегации-деагрегации тромбоцитов и их чувствительности к физиологическим индукторам агрегации. Специфичность сигнально-опосредованных процессов и инициируемых функций АФК, зависит от их концентрации. Так, при действии пероксида водорода в пределах концентраций (1,5–5,0 ммоль/л) инициируется агрегация тромбоцитов, а более низкие (0,05–1,0 ммоль/л) – ингибируют эффекты АДФ [9].

Эффекты H₂O₂ на агрегационную способность тромбоцитов беременных женщин с физиологической беременностью и с преэклампсией представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры H_2O_2 -индуцированной агрегации тромбоцитов женщин с физиологической беременностью и преэклампсией, Ме [P25–P75]

Table 1

Parameters of H_2O_2 -induced platelet aggregation of women with physiological pregnancy and pre-eclampsia, Me [P25–P75]

[H_2O_2]	Параметры	Состояние беременности		U (P)
		Контроль	Преэклампсия	
$1,22 \cdot 10^{-5} M$	T, %	0,15 [0,05–0,3]	0,1 [0,0–0,3]	U = 249,5 P = 0,580047
	V, %/мин	0,6 [0,15–1,0]	0,5 [0,0–1,8]	U = 272,5 P = 0,949094
$2,44 \cdot 10^{-5} M$	T, %	2,25 [1,55–4,05]	2,4 [1,5–3,8]	U = 272,0 P = 0,940625
	V, %/мин	2,65 [1,65–4,75]	2,6 [0,6–4,8]	U = 244,5 P = 0,509432
$6,1 \cdot 10^{-5} M$	T, %	9,9 [7,85–11,05]	10,9 [7,7–12,3]	U = 225,0 P = 0,282505
	V, %/мин	15,6 [6,85–20,3]	12,8 [6,0–17,6]	U = 247,5 P = 0,551256
$1,22 \cdot 10^{-4} M$	T, %	21,9 [19,05–24,1]	21,9 [17,8–29,5]	U = 248,5 P = 0,565564
	V, %/мин	28,0 [16,4–30,5]	23,6 [17,6–30,4]	U = 263,0 P = 0,790226
$2,44 \cdot 10^{-4} M$	T, %	0,25 [0,0–0,7]	0,4 [0,1–1,1]	U = 195,0 P = 0,086685
	V, %/мин	0,0 [-3,4–1,9]	0,6 [0,0–2,0]	U = 202,5 P = 0,120294
$2,44 \cdot 10^{-3} M$	T, %	0,1 [0,0–0,4]	0,1 [0,0–0,2]	U = 227,5 P = 0,307015
	V, %/мин	0,0 [0,0–0,55]	0,3 [0,0–2,0]	U = 197,0 P = 0,094803

Анализ данных свидетельствует, что пероксид водорода в концентрации $1,22 \cdot 10^{-5} M$ не проявлял себя в качестве индуктора агрегации кровяных пластинок. Незначительная агрегация тромбоцитов наблюдалась во всех исследуемых группах при концентрации H_2O_2 равной $2,44 \cdot 10^{-5} M$. При повышении концентрации пероксида водорода до $6,1 \cdot 10^{-5} M$ степень и скорость агрегации тромбоцитов несколько увеличилась, а при концентрации равной $1,22 \cdot 10^{-4} M$ наблюдался максимальный эффект стимуляции агрегации кровяных пластинок в одинаковой степени как в группе женщин с физиологической беременностью, так и в группе беременных женщин с преэклампсией.

Добавление H_2O_2 в концентрациях $2,44 \cdot 10^{-4} M$ и $2,44 \cdot 10^{-3} M$, превышающих в 2 и 20 раз соответственно, выявленный максимальный ответ тромбоцитов приводил к деструкции кровяных пластинок. Полученный результат подтверждает данные об ограниченности диапазона концентраций H_2O_2 , в области действия которого реализуются его физиологические эффекты, причем превышение границы физиологического оптимума приводит к гибели клеток. Этот вывод в одинаковой мере относится к тромбоцитам беременных женщин с физиологической беременностью и с преэклампсией умеренной степени тяжести.

Сходство реакций тромбоцитов на различные концентрации H_2O_2 у беременных женщин с физиологической беременностью и с преэклампсией умеренной степени тяжести ставит под сомнение гипотезу о триггерном действии АФК в стимуляции повышенной активности кровяных пластинок, а также дальнейших проявлений симптоматики преэклампсии.

Однако выявленные более значительные ответные реакции тромбоцитов беременных женщин с преэклампсией на АДФ и тромбин свидетельствуют о необходимости использования антиагрегантов. Одним из наиболее распространенных средств профилактики тромбозов является аспирин, ингибирующий агрегацию кровяных пластинок путем необратимого ацетилирования и инактивации циклооксигеназы-1, что приводит к нарушению синтеза простагландинов G2 и H2, служащих предшественниками тромбоксана A_2 (TxA_2), а также синтеза простагландина I2 в эндотелиальных клетках сосудов. Таким образом, при высоких концентрациях адреналина в плазме крови проявляется низкая эффективность

аспирина, ведущая к возможности развития резистентности [8], а также риска образования язв и желудочно-кишечных кровотечений, что ограничивает возможность его использования при преэклампсии беременных.

Другой препарат – клопидогрел (как дополнение к аспирину) также используется для предотвращения острого тромбоза. Однако данное лекарственное средство, как и тиклопидин, является пролекарством, преобразуя в печени в метаболит, который необратимо связывается с $P2Y_{12}$ пуринорецепторами, тем самым предотвращая АДФ-индуцированную агрегацию тромбоцитов. По нашему мнению, клопидогрел является довольно слабым антагонистом $P2Y_{12}$ рецепторов с переменными эффектами [9], а также обладает рядом противопоказаний к применению и способен вызвать нейтропению и тромбоцитопению. Недостатком тиклопидина является латентный период в развитии терапевтического эффекта (обычно проявляется через 24–48 ч и достигает максимума через 3–5 дней после приема препарата), что не позволяет его использовать при неотложной помощи [10]. Таким образом, клопидогрел и тиклопидин не могут быть рекомендованы для использования во время беременности и лактации ввиду отсутствия адекватных данных о безопасности их применения.

Кроме этого, общим недостатком вышеупомянутых лекарственных средств является то, что они блокируют только один путь активации кровяных пластинок, указывая на то, что тромбоцитарный эффект может быть компенсирован через другие сигнальные пути. Таким образом, несмотря на ингибирование традиционных тромбоцитарных мишеней, другие поверхностные рецепторы и внутриклеточные сигнальные пути, не подвергшиеся воздействию лекарственного средства, могут продолжать активироваться.

Учитывая то, что и $P2Y_1$ и $P2Y_{12}$ рецепторы необходимы для АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов, можно констатировать, что до сих пор только успешное применение в клинической практике нашли ингибиторы $P2Y_{12}$ рецепторов. Антагонисты $P2Y_1$ рецепторов были разработаны и предложены в качестве антиагрегантов, но ни один не продвинулся к клиническим испытаниям [11].

Другие стандартные лекарственные средства, применяемые при артериальной гипертензии, также имеют ряд недостатков. Так, нитропруссид натрия, увеличивающий образование цГМФ в гладкомышечных клетках сосудов, способный вызывать вазодилатацию и применяющийся при гипертонической энцефалопатии, может спровоцировать повышение внутричерепного давления [12]. Использование клонидина ограничивается непредсказуемостью его эффектов. Независимо от дозы, помимо коллапса, при парентеральном введении данного лекарственного средства возможно повышение артериального давления за счет стимуляции периферических альфа-адренорецепторов, а также имеется высокая вероятность развития таких осложнений, как нарушение сознания и угнетение дыхания [13].

В более ранних исследованиях [14; 15] выявлено, что Ar_4A оказался способным снижать повышенную агрегацию тромбоцитов при действии АДФ и тромбина у беременных с преэклампсией. Интересно отметить, что каждый из этих стимуляторов агрегации действует через свои сигнальные пути.

Воздействуя на $P2$ -пуринорецепторы, АДФ активирует фосфолипазу С (PLC), приводя к образованию инозитол-1,4,5-трифосфата (IP_3), мобилизующего кальций из внутриклеточных депо; ингибирует аденилатциклазу (AC), тем самым снижая уровень внутриклеточного цАМФ и вызывая изменения формы, секрецию гранул и агрегацию тромбоцитов. Далее происходит активация фосфолипазы A_2 и высвобождение арахидоновой кислоты с образованием TxA_2 , что в конечном итоге приводит к необратимой агрегации.

В свою очередь, тромбин активирует тромбоциты путем необратимого связывания с мембранными PAR рецепторами, приводя к образованию IP_3 , посредством PLC, который также мобилизует секрецию внутриклеточных запасов ионов Ca^{2+} . Кроме того, данная стимуляция приводит к ингибированию AC и снижению уровня цАМФ в клетке, что вызывает ее агрегацию.

Ингибирование $P2Y_{12}$ рецептора при помощи Ar_4A , приводит к активации аденилатциклазы и увеличению уровня цАМФ в клетке, который, в свою очередь, посредством протеинкиназы А фосфорилирует IP_3 рецептор, ингибируя мобилизацию кальция из внутриклеточных депо [16]. Следует отметить, что Ar_4A снижает стабилизацию тромбоцитарных агрегатов и их чувствительность к другим индукторам агрегации, в том числе тромбоксану A_2 , тромбину и коллагену посредством $P2Y_{12}$, воздействуя на активность гликопротеина IIb-IIIa и интегрина $\alpha IIb\beta_3$, имеющих важное значение для полной активации тромбоцитов [16].

Воздействуя на $P2Y_1$ рецептор, Ar_4A блокирует активацию фосфолипазы С, тем самым снижая мобилизацию внутриклеточных запасов ионов Ca^{2+} . Итак, ингибирование этого рецептора нарушает работу SFK Лун-киназы, которая посредством G-белков запускает каскад биохимических реакций, ведущих к секреции α -гранул и синтезу тромбоксана A_2 [17]. Таким образом, ингибируя $P2Y_{12}$ и $P2Y_1$ рецепторы, Ar_4A оказывает синергическое действие сразу на несколько путей активации тромбоцитов, проявляя себя как эффективный дезагрегант.

Важным обстоятельством для выбора сдвига процесса в сторону повышения или снижения степени активности тромбоцитов является состояние баланса между количеством агрегантов и дезагрегантов внутри и снаружи кровяных пластинок. Выявлено, что в норме в цитоплазме тромбоцитов содержатся плотные тельца, в состав которых входят не только концентраты индукторов агрегации, секреция которых в крови усиливает агрегацию кровяных пластинок, но и дезагреганты: АТФ и диаденозин-5',5''-P¹,P⁴-тетрафосфат. При преэклампсии отмечается существенное снижение числа плотных телец [18], что приводит к уменьшению количества выбрасываемых в кровь дезагрегантов на фоне преобладающего количества стимуляторов агрегации. В этой связи использование экзогенного Ар₄А является целесообразным.

В проведенных ранее экспериментах выявлено корректирующее влияние Ар₄А на повышенную АДФ- и тромбин-стимулированную агрегацию тромбоцитов у беременных с преэклампсией, однако не совсем понятно, как повлияет экзогенный Ар₄А на H₂O₂-зависимый сигнальный путь при данном патологическом состоянии.

Активация тромбоцитов при H₂O₂-индуцированной агрегации происходит по циклооксигеназному пути. Стимуляция метаболизма арахидоновой кислоты приводит к увеличению продуцирования некоторых простаноидов, включая ТхА₂ и простациклин (PGI₂). PGI₂ является мощным вазодилататором и ингибитором агрегации тромбоцитов, тогда как ТхА₂ выполняет противоположную функцию, являясь вазоконстриктором и промотором агрегации, поскольку способен мобилизовать кальций из внутриклеточных хранилищ. Однако пероксиды липидов способны ингибировать работу PGI₂ синтазы, что уменьшает продукцию простациклина. В связи с тем что ТхА₂ и PGI₂ выполняют противоположные роли, дисбаланс их синтеза в сторону повышения уровня ТхА₂ при преэклампсии способствует материнской гипертензии, увеличению агрегации тромбоцитов и уменьшению маточно-плацентарного кровотока [19]. Однако следует учесть, что АФК не способны влиять ни на секрецию плотных гранул тромбоцитов, ни на изменение их формы [20].

В следующей серии экспериментов исследовалась реактивность тромбоцитов беременных с преэклампсией, индуцированная пероксидом водорода в присутствии экзогенного Ар₄А. H₂O₂ использовался в концентрации, вызывающей максимальную агрегацию тромбоцитов (1,22·10⁻⁴М), и различные концентрации Ар₄А (табл. 2).

Таблица 2

Влияние различных концентраций Ар₄А на H₂O₂-индуцированную агрегацию тромбоцитов беременных женщин, Me [P25–P75]

Table 2

Effect of different concentrations of Ar₄A on H₂O₂-induced platelet aggregation of pregnant women, Me [P25–P75]

[H ₂ O ₂] + [Ar ₄ A]	Параметры	Состояние беременности		U (P)
		Контроль	Преэклампсия	
H ₂ O ₂ 1,22·10 ⁻⁴ М + Ar ₄ A 1,83·10 ⁻⁷ М	T, %	14,85 [11,75–16,15]	13,95 [12,8–16,0]	U = 262,5 P = 0,291189
	V, %/мин	16,05 [9,9–29,2]	17,05 [10,1–19,8]	U = 262,0 P = 0,973687
H ₂ O ₂ 1,22·10 ⁻⁴ М + Ar ₄ A 3,66·10 ⁻⁷ М	T, %	6,95 [4,5–8,2]	6,15 [5,2–8,3]	U = 248,5 P = 0,741514
	V, %/мин	7,6 [4,5–14,9]	9,5 [4,6–14,2]	U = 252,5 P = 0,808866
H ₂ O ₂ 1,22·10 ⁻⁴ М + Ar ₄ A 7,32·10 ⁻⁷ М	T, %	1,75 [0,95–2,95]	1,4 [0,5–2,8]	U = 215,5 P = 0,291189
	V, %/мин	2,05 [0,35–3,45]	1,05 [0,7–2,8]	U = 247,0 P = 0,716729

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что дезагрегационные свойства Ар₄А проявляются дозозависимо и в определенной области его концентраций. Так, при концентрации Ар₄А, равной 1,83·10⁻⁷М, отмечается несущественное ингибирование степени и скорости агрегации тромбоцитов, вызываемой пероксидом водорода (1,22·10⁻⁴М) как у беременных с физиологически протекающей беременностью, так и у беременных с преэклампсией. Использование Ар₄А в концентрации 3,66·10⁻⁷М существенно снижало функциональную активность тромбоцитов, вызванную перекисью водорода (до равных значений) как у женщин с физиологической беременностью, так и у беременных с патологией. Ар₄А в концентрации

$7,32 \cdot 10^{-7} \text{M}$ эффективно ингибировал H_2O_2 -индуцированную агрегацию тромбоцитов беременных, не имеющих осложнений, и беременных с преэклампсией, но при этом степень и скорость агрегации в обследованных группах не отличались друг от друга.

Заключение

У беременных женщин с преэклампсией не удалось обнаружить достоверного повышения степени агрегации в ответ на действие пероксида водорода по сравнению с физиологически протекающей беременностью. Сходство реакций тромбоцитов на различные концентрации пероксида водорода у беременных женщин с физиологически протекающей беременностью и беременных женщин с преэклампсией умеренной степени тяжести указывает, что АФК не являются триггерным механизмом, приводящим к прогрессированию преэклампсии, а это ставит под сомнение гипотезу о триггерном действии АФК в стимуляции повышенной активности кровяных пластинок и дальнейших проявлений симптоматики преэклампсии.

В результате исследования влияния Ar_4A на функциональную активность тромбоцитов установлено, что данный динуклеотид обладает способностью ингибировать H_2O_2 -индуцированную агрегацию тромбоцитов, выступая в качестве сигнальной молекулы, снижая степень и скорость агрегации кровяных пластинок как у беременных женщин, не имеющих осложнений, так и у беременных с преэклампсией умеренной степени тяжести.

Библиографические ссылки

1. Киселева НИ. Показатели оксидантного и антиоксидантного статуса при физиологической и осложненной гестозом беременности. *Медицинский журнал*. 2007;1: 51–52.
2. Воейков ВЛ. Биофизикохимические аспекты старения и долголетия. *Успехи геронтологии*. 2002;9:261–265.
3. Masugata H, Senda S, Murao K, Inukai M, Himoto T, Hosom N, Okada H, et al. Association between urinary 8-hydroxydeoxyguanosine, an indicator of oxidative stress, and the cardio-ankle vascular index in hypertensive patients. *Journal of atherosclerosis and thrombosis*. 2012;19(8):747–755.
4. Smith MA. Preeclampsia. *Primary care*. 1993;20(3):655–664.
5. Chang H, Yanachkov IB, Michelson AD, Li Y, Barnard MR, Wright GE, et 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.
6. Luo J, Jankowski V, Gungör N, Neumann J, Schmitz W, Zidek W, et al. Endogenous diadenosine tetraphosphate, diadenosine pentaphosphate, and diadenosine hexaphosphate in human myocardial tissue. *Hypertension*. 2004;43(5):1055–1059. DOI: 10.1161/01.hyp.0000126110.46402.dd.
7. Буланова КЯ, Сидоренко ВН, Лобанок ЛМ, Герасимович НВ, Кобяшев АА, Жив АЮ, Бокуть ОС. Роль активных форм кислорода в изменении функциональной активности тромбоцитов беременных женщин с гестозами. *Медицинский журнал*. 2009; 2:25–29.
8. Мартынов АИ, Акатова ЕВ, Урлаева ИВ, Николин ОП. Истинная резистентность и псевдорезистентность к аспирину. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2013;9:301–305.
9. Erlinge D, Burnstock G. P2 receptors in cardiovascular regulation and disease. *Purinergic Signal*. 2008;4(1): 1–20. DOI: 10.1007/s11302-007-9078-7.
10. Шилов АМ, Святков ИС, Санодзе ИД. Антиагреганты – современное состояние вопроса. *Российский медицинский журнал*. 2003;11:552–555.
11. Mathieu R, Baurand A, Schmitt M, Gachet C, Bourguignon JJ. Synthesis and biological activity of 2-alkylated deoxyadenosine bisphosphate derivatives as P2Y(1) receptor antagonists. *Bioorganic & medicinal chemistry*. 2004;12(7):1769–1779. DOI: 10.1016/j.bmc.2003.12.041.
12. Чазова ИЕ, Ратова ЛГ, Бойцов СА, Небиеридзе ДВ. Диагностика и лечение артериальной гипертензии (рекомендации Российского медицинского общества по артериальной гипертензии и Всероссийского научного общества кардиологов). *Системные гипертензии*. 2010;3:5–26.
13. Удот ПС. Опыт применения антигипертензивного препарата комбинированного действия урапидил (Эбрантил®) в лечении гипертонических кризов на этапе скорой медицинской помощи в Минске. *Международные обзоры: клиническая практика и здоровье*. 2017;2:86–94.
14. Бакунович АВ, Буланова КЯ, Зинченко АИ. Влияние диаденозин-5',5'''-P¹, P⁴ –тетрафосфата на активированные тромбоциты при гипертензии и преэклампсии. В: Лызики А. Н. и др. *Проблемы и перспективы развития современной медицины: сборник научных статей IX Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых (г. Гомель, 28 апреля 2017 года)*. Гомель: ГомГМУ;2017. с. 55–56.
15. Бакунович АВ, Бичан ОД, Лобанок ЛМ, Буланова КЯ. Особенности влияния диаденозин тетрафосфата на тромбин-индуцированную агрегацию тромбоцитов беременных женщин с преэклампсией. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2018;2:71–78.
16. Remijn JA, Wu YP, Jeninga EH, Ijsseldijk MJ, van Willigen G, et al. Role of ADP Receptor P2Y12 in Platelet Adhesion and Thrombus Formation in Flowing Blood. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*. 2002;22(4):686–691. DOI: 10.1161/01.ATV.0000012805.49079.23.
17. Шатурный ВИ, Шахиджанов СС, Свешникова АН, Пантелеев МА. Активаторы, рецепторы и пути внутриклеточной сигнализации в тромбоцитах крови. *Биомедицинская химия*. 2014;60(2):182–200.

18. Hayashi M, Kiumi F, Mitsuya K. Changes in platelet ATP secretion and aggregation during pregnancy and in preeclampsia. *The American journal of the medical sciences*. 1999;318(2):115–121.
19. Wang Y, Alexander JS. Placental pathophysiology in preeclampsia. *Pathophysiology*. 2000;6(4):261–270. DOI: 10.1016/S0928-4680(99)00026-7.
20. Begonja AJ, Gambaryan S, Geiger J, Aktas B, Pozgajova M, Nieswandt B, et al. Platelet NAD(P)H-oxidase-generated ROS production regulates alphaIIb beta3-integrin activation independent of the NO/cGMP pathway. *Blood*. 2005;106(8):2757–2760. DOI: 10.1182/blood-2005-03-1047.

References

1. Kiseleva NI. *Pokazateli oksidantnogo i antioksidantnogo statusa pri fiziologicheskoy i oslozhnennoy gestozom beremennosti* [Indicators of oxidative and antioxidant status in the physiological and gestosis-complicated pregnancy]. *Medical Journal*. 2007;1:51–52. Russian.
2. Voikov VL. *Biofizikokhimicheskie aspekty starenija dolgoletija* [Biophysical and chemical aspects of aging and longevity]. *Suce of Gerontology*. 2002;9:261–265. Russian.
3. Masugata H., Senda S, Murao K, Inukai M, Himoto T, Hosomi N, Okada H, et al. Association between urinary 8-hydroxydeoxyguanosine, an indicator of oxidative stress, and the cardio-ankle vascular index in hypertensive patients. *Journal of atherosclerosis and thrombosis*. 2012; 19(8):747–755.
4. Smith MA. Preeclampsia. *Primary care*. 1993;20(3):655–664.
5. Chang H, Yanachkov IB, Michelson AD, Li Y, Barnard MR, Wright GE, et 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.
6. Luo J, Jankowski V, Gungär N, Neumann J, Schmitz W, Zidek W, et al. Endogenous diadenosine tetraphosphate, diadenosine pentaphosphate, and diadenosine hexaphosphate in human myocardial tissue. *Hypertension*. 2004;43(5):1055–1059. DOI: 10.1161/01.hyp.0000126110.46402.dd.
7. Bulanova KYa, Sidorenko VN, Lobanok LM, Gerasimovich NV, Kobayashv AA, Zhiv AYu, Bokut OS. *Rol' aktivnykh form kisloroda v izmenenii funktsional'noy aktsivnosti trombotsitov beremennykh zhenschin v gestozami* [The role of reactive oxygen species in changes in the functional activity of platelets in pregnant women with gestosis]. *Medical Journal*. 2009;2:25–29. Russian.
8. Martynov AI, Akatova EV, Urlaeva IV, Nikolin OP. *Istinnay rezistentnost' i psevdorezistentnost' k aspirinu* [True Resistance and Pseudoresistance to Aspirin]. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2013;9:301–305. Russian.
9. Erlinge D, Burnstock G. P2 receptors in cardiovascular regulation and disease. *Purinergic Signal*. 2008;4(1):1–20. DOI: 10.1007/s11302-007-9078-7.
10. Shilov AM, Svyatov IS, Sanodze ID. *Antiagreganty – sovremennoe sostojanie voprosa* [Antiplatelet agents – the current state of the issue]. *Russian Medical Journal*. 2003;11:552–555. Russian.
11. Mathieu R, Baurand A, Schmitt M, Gachet, C, Bourguignon JJ. Synthesis and biological activity of 2-alkylated deoxyadenosine bisphosphate derivatives as P2Y(1) receptor antagonists. *Bioorganic & medicinal chemistry*. 2004;12:1769–1779. DOI: 10.1016/j.bmc.2003.12.041.
12. Chazova IE, Ratova LG, Boytsov SA, Nebieridze DV. *Diagnostika i lechenie arterial'noy (rekomentatsii Rossiyskogo meditsinskogo obschestva po arterial'noy gipertonii i Vserossiyskogo nauchnogo obschestva kardiologov* [Diagnosis and treatment of arterial hypertension (Recommendations of the Russian Medical Society for Arterial Hypertension and the Russian Scientific Society of Cardiology)]. *Systemic Hypertension*. 2010; 3:5–26. Russian.
13. Udot PS. *Opyt primeneniya antigipertenzivnogo preparata kombinirovannogo deystvija urapidil (Ebrantil®) v lechenii gipertonicheskikh krizov na etape skoroy meditsinskoy pomoschi v Minske* [Experience of using antihypertensive drug of combined action urapidil (Ebrantil®) in the treatment of hypertensive crises at the stage of emergency medical care in Minsk]. *International reviews: clinical practice and health*. 2017; 2: 86–94. Russian.
14. Bakunovich AV, Bulanova KYa, Zinchenko AI. [The effect of diadenosine-5', 5'''-P¹, P⁴–tetraphosphate on activated platelets in hypertension and pre-eclampsia]. In: Lyznikov A. N. i dr. *Problemy i perspektivy razvitiya sovremennoy meditsiny. Sbornik nauchnykh statey IX Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhduardnym uchastiem studentov I molodykh uchenykh; 28 aprelja 2017 g.; Gome'1'*. Gomel: GomGMU; 2017. p. 55–56 [Lyznikov A. N., et al. Problems and prospects for the development of modern medicine]. Collection of scientific articles of the IX Republican Scientific and Practical Conference with international participation of students and young scientists; 2017 April 28; Gomel. Gomel: GomGMU; 2017. p. 55–56. Russian.
15. Bakunovich AV, Bichan OD, Lobanok LM, Bulanova KYa. [Features of the effect of diadenosine tetraphosphate on thrombin-induced platelet aggregation of pregnant women with preeclampsia]. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2018;2:71–78. Russian.
16. Remijn JA, Wu YP, Jeninga EH, Ijsseldijk MJ, van Willigen G., et al. Role of ADP Receptor P2Y12 in Platelet Adhesion and Thrombus Formation in Flowing Blood. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*. 2002;22(4):686–691. DOI: 10.1161/01.ATV.0000012805.49079.23.
17. Shaturny VI, Shakhidzhanov SS, Sveshnikova AN, Panteleev MA *Aktivatory retseptory I puti vnutrikletochnoy signalizatsii v trombotsitakh krovi* [Activators, receptors and pathways of intracellular signaling in blood platelets]. *Biomedical Chemistry*. 2014;60(2):182–200. Russian.
18. Hayashi M, Kiumi F, Mitsuya K. Changes in platelet ATP secretion and aggregation during pregnancy and in preeclampsia. *The American journal of the medical sciences*. 1999;318(2):115–121.
19. Wang Y, Alexander JS. Placental pathophysiology in preeclampsia. *Pathophysiology*. 2000;6(4):261–270. DOI: 10.1016/S0928-4680(99)00026-7.
20. Begonja AJ, Gambaryan S, Geiger J, Aktas B, Pozgajova M, Nieswandt B, et al. Platelet NAD(P)H-oxidase-generated ROS production regulates alphaIIb beta3-integrin activation independent of the NO/cGMP pathway. *Blood*. 2005;106(8):2757–2760. DOI: 10.1182/blood-2005-03-1047.

УДК 571.27

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИММУНОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ ГРИБОВ РОДА *CORDYCEPS*

Н. В. ИКОННИКОВА¹⁾, М. В. ЛОБАЙ¹⁾

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

Проанализированы возможные механизмы биологической активности и иммуностропных потенциалов грибов рода *Cordyceps*. Представлена характеристика цикла развития и экология данных грибов. Биологическое действие *Cordyceps* определяют в первую очередь иммуномодулирующие полисахариды, активирующие иммунные клетки, увеличивающие продукцию цитокинов и интерферона. Показано, что препараты на основе грибного мицелия кордицепса также обладают противоопухолевым, антиоксидантным, противовоспалительным действиями, проявляют антимикробную, противовирусную активность.

Ключевые слова: *Cordyceps*; биологически активные соединения; β -D-глюкан; кордицепин; кордицепиновая кислота; иммуномодулирующая активность; интерлейкины; Т-клетки; НК-клетки.

BIOLOGICAL PROPERTIES AND IMMUNOTROPIC EFFECTS OF THE GENUS *CORDYCEPS* FUNGI

N. V. IKONNIKOVA^a, M. V. LOBAI^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Dauhabrodskaya Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: marina.lobai@mail.ru

The possible mechanisms of biological activity and immunotropic potencies of the genus *Cordyceps* fungi are analyzed. The characteristic of the development cycle and the ecology of these fungi are presented. The biological effect of *Cordyceps* is determined, first of all, by immunomodulating polysaccharides, activating immune cells, increasing the production of cytokines and interferon. It has been shown that preparations based on the fungus mycelium of *Cordyceps* also have antitumor, antioxidant, anti-inflammatory effects, exhibit antimicrobial, antiviral activity.

Kew words: *Cordyceps*; biologically active compounds; β -D-glucan; cordycepin; cordycetic acid; immunomodulating activity; interleukins; T-cells; NK-cells.

Образец цитирования:

Иконникова НВ, Лобай МВ. Биологические свойства и иммуностропные эффекты грибов рода *Cordyceps*. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019;2:68–76.

For citation:

Ikonnikova NV, Lobai MV. Biological properties and immunotropic effects of the genus *Cordyceps* fungi. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2019;2:68–76. Russian.

Авторы:

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

Марина Валерьевна Лобай – преподаватель кафедры иммунологии и экологической эпидемиологии.

Author:

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

sofnat@mail.ru

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

marina.lobai@mail.ru

Введение

С конца XX в. и по настоящее время непрерывный интерес вызывают исследования лекарственных потенциалов грибов. Большое внимание и обоснованный научный интерес в медицине, биотехнологии и фармации вызывают препараты на основе физиологически активных соединений природного происхождения. В качестве перспективных рассматриваются лечебно-профилактические препараты, включающие различные компоненты биомассы грибов, традиционно используемых в медицине народов мира. Все большую популярность приобретают фармакологически ценные соединения редких видов грибов из стран Юго-Восточной Азии и Китая с широким спектром биологических активностей.

У грибов источниками выделения биологически активных соединений служат плодовые тела, базидиоспоры, вегетативный мицелий (в том числе погруженный) и культуральная жидкость. В условиях Беларуси экологическими факторами, определяющими невозможность работы с плодовыми телами грибов, являются последствия аварии на Чернобыльской АЭС, загрязненность почв тяжелыми металлами и другие причины техногенного характера. Глубинное культивирование грибов обеспечивает получение экологически чистых и экономически целесообразных фармакологически ценных субстанций, в том числе внутри- и внеклеточных полисахаридов, в достаточном количестве для изучения их активностей *in vivo* и *in vitro*. В то же время этот способ культивирования открывает возможности исследовать уникальный лекарственный потенциал таких редких видов грибов, как род *Cordyceps*, которые не произрастают в климатических условиях республики и стран СНГ.

Грибы рода *Cordyceps* многие столетия являются традиционным лекарством и средством профилактики восточной медицины. Соединения, входящие в состав этого лекарственного гриба, улучшают состояние иммунной системы, усиливают резистентность к различным патогенным микроорганизмам, оказывают противоопухолевое действие, повышают адаптационные возможности организма, обладают антиоксидантной активностью, препятствуют процессам старения [1]. Биологическое действие *Cordyceps* определяют в первую очередь иммуномодулирующие полисахариды, активирующие иммунные клетки, увеличивающие продукцию цитокинов и интерферона. Из научной литературы следует, что полисахариды *Cordyceps* обладают противоопухолевым, иммуномодулирующим, антиоксидантным, противовоспалительным и гипогликемическим действиями, снижают уровень холестерина в крови, уменьшают тяжесть и продолжительность побочных эффектов, связанных с химио- и радиотерапией [1].

Грибы рода *Cordyceps*

Cordyceps (*Кордицепс*) – редкий, экзотический, энтомопатогенный лекарственный гриб, который высоко ценится в китайской медицине на протяжении веков и имеет ряд выявленных и научно доказанных лечебных эффектов. В странах Европы и Америки об уникальных свойствах кордицепса как средства китайской фунготерапии стало известно относительно недавно, приблизительно двадцать лет назад. В результате современных исследований последнего десятилетия стал доступным основной объем информации об экологии, культурально-морфологических свойствах и питательных потребностях этих грибов, а также выявлены их высокие иммуномодулирующие и противоопухолевые активности. Это самый разнообразный род в семействе *Clavicipitaceae* по количеству видов. По распределению они являются космополитами, заселяя все земные регионы, за исключением Антарктиды. Большинство известного разнообразия видов обитает в субтропических и тропических регионах, особенно в Восточной и Юго-Восточной Азии [2].

Таксономическая характеристика грибов рода *Cordyceps*:

Царство *Fungi*

Отдел *Ascomycota*

Подотдел *Pezizomycotina*

Класс *Sordariomycetes*

Порядок *Hypocreales*

Семейство *Clavicipitaceae*

Род *Cordyceps*

Наиболее популярные виды грибов рода *Cordyceps* – кордицепс китайский (*C. sinensis*), серо-пепельный (*C. entomorrhiza*), военный (*C. militaris*), офиоглоссовидный (*C. ophioglossoides*), бугорчатый (*C. capitata*) представлены на рис. 1.



Рис. 1. Грибы рода *Cordyceps*: а) китайский (*C. sinensis*), б) военный (*C. militaris*), в) офиоглоссовидный (*C. ophioglossoides*), д) бугорчатый (*C. capitata*), е) серо-пепельный (*C. entomorrhiza*)

Fig. 1. Fungi of the genus *Cordyceps*: a) chinese (*C. sinensis*), b) military (*C. militaris*), c) oioGLOSSOVIDNY (*C. ophioglossoides*), d) tubercular (*C. capitata*), e) ash gray (*C. entomorrhiza*)

Кордицепс китайский (*Cordyceps sinensis*). Кордицепс китайский встречается только в Северном и Центральном Китае. Ареал обитания *Cordyceps* простирается от 3,5 до 4 тыс. м над уровнем моря (высокогорье Цинцзан). Климатические условия ареала довольно суровые: низкая температура, низкий уровень кислорода, влажность 60 %, 8–10 мес. в году идет снег, а лето очень короткое и дождливое, солнца практически не бывает. Чтобы выжить в таких условиях, необходимо аккумулировать все возможные жизненно активные вещества.

Большинство грибов рода *Cordyceps* паразитируют на различных отрядах насекомых, несколько – на грибах. Два из них развиваются на спорынье и встречаются в Европе (*C. clavicipitis*) и Японии (*C. clavicipiticola*). Два других вида часто встречаются на подземных оленьевых трюфелях (*Elaphomyces*) в умеренной зоне северного полушария [3; 4].

С латинского языка *Cordyceps sinensis* переводится как «раздутая голова». У Кордицепса нет шляпки в привычном понимании. Вместо нее имеется вздутие, «голова», которая лишь немногим толще ножки. Внешний вид его очень интересный. Заметны две части – гладкое темно-коричневое тело гриба и светло-коричневое тело самой гусеницы. Белый на изломе и серо-коричневый или темно-коричневый снаружи гриб поднимается и образует изгиб от переднего конца личинки-хозяина. Его длина колеблется от 4 до 8 см, реже до 11 см, толщина у основания составляет 3–4 мм. Плодовое тело гриба достаточно грубое у основания, в средней части оно тонкое, имеет булавовидное утолщение на конце. Гриб сладкий на вкус и обладает приятным ароматом.

Кордицепс военный (*Cordyceps militaris*). Стромы одиночные или растущие группами, простые или разветвленные, цилиндрические или булавовидные, различных оттенков оранжевого цвета. Крошечный гриб, до 5 см в высоту.

Паразитируют на зарывшихся в почву куколках бабочек (очень редко на других насекомых), в лесах. Активно используется в восточной медицине. Является одним из самых широко распространенных видов рода *Cordyceps*. Встречается в Европе, Азии, Северной и Южной Америке, а также на африканском континенте. Размеры, форма стром и интенсивность окраски гриба очень изменчивы и зависят от размеров пораженного насекомого и условий окружающей среды [3].

Большинство грибов рода *Cordyceps* обитают в гюларктической зоне (Европа, Азия, Северная Америка, Северная Африка). Широта ареалов гюларктических видов различна. Одни из них встречаются во всех районах зоны (кордицепс военный, кордицепс головчатый и кордицепс офиоглоссовидный). У других ареалы очень небольшие. Например, 5 видов, паразитирующих на цикадах, известны только в Японии, а кордицепс китайский встречается только в Северном и Центральном Китае. *C. sinensis* паразитирует на личинках бабочек из семейства тонкопрядов в высокогорных районах провинций Цинхай, Ганьсу и на северо-западе Тибета, на высоте более 3500 м [5].

В Китае и Японии *C. sinensis* известен под названием «Dong Chong Xia Cao» и «Tochukaso», что в переводе означает «зимой – насекомое, летом – трава» [6].

Жизненный цикл *Cordyceps* настолько необычен, что китайские медики до XVII–XVIII вв. считали его двуединым существом: растением и насекомым одновременно. Часть своего жизненного цикла, который составляет несколько месяцев, гриб проводит на личинках и куколках насекомых, зимующих в почве. Паразитирует он и в теле некоторых видов гусениц, преимущественно – в шелкопряде *Hepialus armoricanus*, хотя «не брезгует» и другими насекомыми (например, муравьями). Споры гриба, попадая на волосистую поверхность насекомого, внедряются в тело хозяина, гидролизуют его хитиновый покров. В результате насекомое или его личинка погибают и превращаются в своего рода «инкубатор»

для развития полноценных грибниц кордицепса. Пораженные грибом куколки насекомых или гусеницы мумифицируются и могут находиться без дальнейшего развития 1–2 года (в зависимости от погодных условий) [7].

Гусеницы питаются корнями растений, а мицелий (вегетативное тело гриба) развивается в теле гусеницы. Зимует *Cordyceps* в земле в виде кокона, чья роговая оболочка, оставшаяся от гусеницы, служит защитой для тела гриба. Когда заканчиваются запасы личинки, *Cordyceps* вынужден переходить на питание корневищами высокогорных растений, например, аконита, астрагала и офииопогона. В течение двухгодичного цикла развития под землей *Cordyceps* выдерживает длительное голодание, холод и недостаток кислорода. С наступлением весны через дыхательное отверстие на голове гусеницы вырастает одиночное плодовое тело, чье основание остается связанным под землей с головой и телом гусеницы [7; 8; 10]. В начале лета гусеница погибает и из нее вырастает молодой гриб размером около 5 см, а его взрослая форма называется *Cordyceps sinensis*. Мицелий же, паразитирующий в гусенице, носит название *Paecilomyces hepiali*. Интересно, что куколки и ткани насекомых, пораженные *Cordyceps*, не заселяются бактериями и не разлагаются. Происходит это из-за выделения грибом в тело хозяина природного антибиотика кордицепина, защищающего субстрат от «нашествия» микроорганизмов. Поэтому в качестве лекарства в народной медицине используют и плодовый гриб, и тело гусеницы [8].

Биохимический состав и активные вещества грибов рода *Cordyceps*

Энтомопатогенные грибы *C. militaris* и *C. sinensis* привлекают внимание биотехнологов в связи с обнаружением у них множества таких ценных для фармакологии биологически активных веществ, как полисахариды, нуклеозиды, антиоксиданты, коэнзим Q (убихинон), незаменимые аминокислоты, ненасыщенные жирные кислоты, фосфолипиды, каротиноиды, витамины E и C, микро- и макроэлементы. Благодаря присутствию данного комплекса биологически активных веществ, биомасса данных грибов обладает лекарственными свойствами [9].

По данным литературных источников, входящие в состав грибов рода *Cordyceps* соединения проявляют высокую иммуномодулирующую, противоопухолевую, гепатопротекторную, антиоксидантную, антимикробную, противовирусную и сорбционную активности [10–13].

Кордицепин (3-дезоксиаденозин) впервые был выделен еще в 1950 г. из *C. militaris* [23]. Он представляет пуриновый алкалоид, производное от нуклеозида аденозина, которое отличается отсутствием атома кислорода в 3-ем положении остатка рибозы. Кордицепин растворяется в физиологическом растворе, теплом спирте либо метаноле, но не растворяется в бензоле, эфире или хлороформе, поэтому в исследованиях используются физиологический раствор и натрий-фосфатный буфер как растворитель. Кордицепин поражает многие вирусы, в том числе аденовирусы, вирусы гриппа, гепатита и герпеса; уничтожает патогенные и болезнетворные бактерии по всему организму, борется с большинством известных инфекций [11].

Кордицепиновая кислота (изомер хининовой кислоты) является одним из главных действующих лекарственных веществ, выделенных из гриба *C. sinensis*. Кордицепиновая кислота идентифицирована, как D-маннитол. По химическому строению маннитол является спиртом и сахаром, или полиолом, подобен ксилиту и сорбиту, широко используется в медицине и пищевой промышленности. Содержание маннитола в плодовых телах *C. sinensis* составляет 29–85 мг/г. Содержание маннитола в мицелии *C. sinensis* выше, чем в плодовых телах (рис. 2) [38].



Рис. 2. Структурная формула кордицепина (а) и кордицепиновой кислоты (б) [30]

Fig. 2. The structural formula of cordycepin (a) and cordycetic acid (b) [30]

Грибы рода *Cordyceps* продуцируют антибиотики: цефалоспорин и циклоспорин [24]. Применение у мышей экстракта *C. sinensis* оказывало защитное действие от стрептококковой инфекции группы А: повышалась выживаемость животных, уменьшались очаги повреждения кожных покровов [10]. Использование экстрактов *C. sinensis* способствовало повышению выносливости лабораторных животных, снижению усталости и стресса, оказывало антидепрессантное действие [12].

Китайскими учеными получены положительные результаты по уменьшению эффектов старения у лабораторных животных под влиянием экстрактов *C. sinensis*. При их применении у высоко возрастных мышей повышалась активность ферментов супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы и каталазы, однако снижался уровень перекисного окисления липидов и моноамин оксидазы. Отмечено улучшение активности работы мозга (памяти, способности к обучению) [28].

Иммуномодулирующие эффекты полисахаридов грибов рода *Cordyceps*

Несмотря на разнообразие веществ, входящих в состав лекарственных грибов, основным действующим началом являются полисахариды. Показано, что большинство биологических эффектов грибов рода *Cordyceps* связано с наличием уникального комплекса данных соединений [13]. Полисахариды данных грибов представлены в основном β -D-глюканами [14].

По химической структуре β -D-глюканы – полимеры, состоящие из остатков моносахаров (в основном глюкозы), имеющие молекулы линейной структуры с β -(1→3)-гликозидными типами связей или разветвленные с β -(1→6)-гликозидными связями в боковых цепях.

Фармакологически β -D-глюканы относятся к группе физиологически активных соединений, называемых модификаторами биологического ответа. Предполагается, что грибные полисахариды могут обладать как непосредственным цитотоксическим воздействием, например, на опухолевые клетки, так и проявлять опосредованное действие. Возможный механизм канцеростатического действия объясняется активацией иммунной системы: β -D-глюкан связывается с поверхностью лимфоцита или со специфическим сывороточным белком, который активирует макрофаги (высокая селективность в отношении рецепторов *dectin-1*, TLR, Complement 3, Lactosylceramid), Т-, NK- и другие эффекторные клетки. Это приводит к увеличению продукции антител, интерлейкинов (IL-1, IL-2) и интерферона. Активация иммунной системы β -глюканами неспецифическая, что позволяет использовать их как в профилактических целях, так и в качестве вспомогательного лекарственного средства при различных заболеваниях, сопровождающихся общим снижением иммунитета. В общем плане β -D-глюканы представляются структурными аналогами тех сигнальных молекул, на которые реагирует иммунная система с формированием определенного защитного ответа. Возможно, действие β -D-глюканов реализуется через активацию естественных киллеров (NK-клеток) (рис. 3).

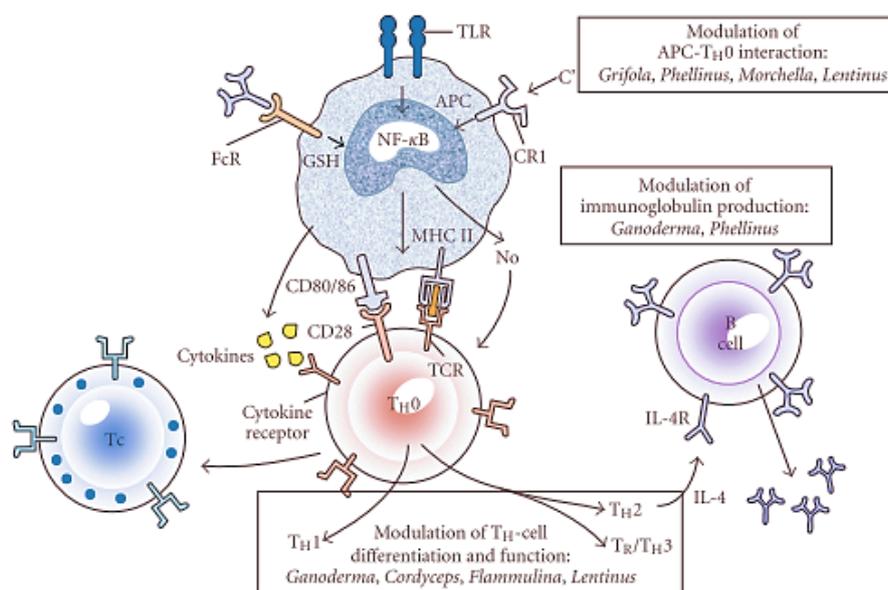


Рис. 3. Предполагаемые мишени действия грибных β -D-глюканов [28]

Fig. 3. Estimated targets of fungal β -D-glucans action [28]

Наиболее вероятным механизмом обеспечения функционального ответа иммунокомпетентных клеток на действие биологически активных компонентов грибов рода *Cordyceps* является модуляция нового уровня соотношения различных цитокинов.

Один из ключевых регуляторов клеточной кооперации – интерлейкин-2 (IL-2). Главная функция IL-2 состоит в обеспечении составляющей адаптивного иммунитета. IL-2 является фактором роста и дифференцировки Т-лимфоцитов и NK-клеток, участвует в регуляции координации и функционирования факторов врожденного и приобретенного иммунитета. При оценке динамики уровня IL-2 оказалось, что грибы рода *Cordyceps* оказывают сложное модулирующее воздействие на уровень и эффекты этого ключевого цитокина. По литературным данным, экстракты грибов рода *Cordyceps* повышали образование IL-2 и увеличивали степень его воздействия на иммунные клетки [15–18]. Таким образом, можно предположить, что влияние на продукцию IL-2 является одним из важнейших иммуномодулирующих механизмов действия экстрактов лекарственных грибов.

Показано, что экстракты *C. sinensis* значительно увеличивали синтез интерферона-гамма (ИНФ- γ), фактора некроза опухоли-альфа (ФНО- α) и интерлейкина-1 (IL-1) в культуре опухолевых клеток. Однако при избыточной стимуляции провоспалительных цитокинов экстракт *C. sinensis* способствовал снижению уровня и эффектов ФНО- α .

Установлено влияние полисахаридов грибов рода *Cordyceps* на продукцию гемопоэтических факторов GM-CSF (гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор) и интерлейкина-6 (IL-6) иммунокомпетентными клетками пейеровых бляшек тонкой кишки. Регуляция данного процесса оказывает влияние на пролиферацию клеток костного мозга и является теоретическим обоснованием использования полисахаридов при цитопеническом синдроме, а модуляция функции кишечных иммунокомпетентных клеток создает предпосылки для коррекции широкого спектра функциональных расстройств, связанных с дисбактериозом [19; 20]. Показана активация перитонеальных макрофагов под воздействием полисахаридов *Cordyceps*.

Анализ научных источников свидетельствует, что полисахариды грибов рода *Cordyceps* способны компенсировать патологическую гиперреактивность как клеточного, так и гуморального звеньев иммунитета. Ключевым эффектом, по-видимому, является регуляция активности транскрипционных факторов и модуляция соотношения цитокинов. Выявлено участие полисахаридов кордицепса в регуляции уровня IL-2, фактора некроза опухоли-альфа и предотвращении стимулированной гиперактивации NK-клеток [21].

Изучение иммуномодулирующей активности полисахаридов, полученных из глубинной культуры *C. sinensis*, на человеческой периферической крови показало, что экзополисахариды, в зависимости от дозы, индуцировали выработку ФНО-альфа, ИЛ-6 и ИЛ-10 (минимальная концентрация полисахаридов составляла 0,1 мг/мл). Даже при концентрации 0,025 мг/мл наблюдалось значительное увеличение поверхностной экспрессии мембранного белка – интегрин альфа-M (CD11b) на моноцитах и нейтрофилах. Функциональный анализ показал, что концентрация экзополисахаридов 0,05 мг/мл также повышала фагоцитарную активность моноцитов и нейтрофилов [22]. С другой стороны, эндополисахариды глубинной культуры *C. sinensis* в тех же концентрациях не так активно индуцировали выработку ФНО-альфа, экспрессию CD11b и не оказывали значительного влияния на фагоцитоз. Следовательно, можно заключить, что культуральная жидкость, содержащая экзополисахариды, обладает более выраженной иммуномодулирующей активностью по сравнению с эндополисахаридами [23; 24]. С некоторой степенью уверенности можно утверждать, что в настоящее время имеется определенный объем экспериментальных данных, доказывающий влияние полисахаридов гриба *C. sinensis* на фагоцитарную активность нейтрофилов крови в условиях *in vivo* и *in vitro* [25]. Однако иммуностимулирующая активность экзо- и эндополисахаридов гриба *C. militaris* не изучалась. В связи с этим исследования в данном направлении представляют несомненный научный интерес.

Установлено, что противоопухолевым действием обладают соединения нуклеозидной природы грибов рода *Cordyceps*: кордицепин (3-деоксиаденозин), дидеоксиаденозин. При синтезе новых цепей ДНК эти соединения встраиваются вместо аденозина, препятствуя репликации ДНК. Кордицепин ингибирует синтез ДНК у раковых клеток, поскольку у них нарушен механизм репарации ДНК. Этим объясняют и противовирусное действие *Cordyceps* [26]. Препараты на основе *Cordyceps* замедляли процесс образования колоний опухолевых клеток меланомы, а также способствовали сохранению активности NK-клеток, несмотря на лечение иммуносупрессивным препаратом циклофосфамидом [23]. По мнению ряда авторов [27–29], основной противоопухолевый эффект кордицепса связан с увеличением активности NK-клеток. При воздействии экстрактов *Cordyceps* в опухолевых клетках увеличивается число поверхностных антигенов, что делает злокачественные клетки более различимыми для иммунной системы. Прием препаратов на основе кордицепса способствовал значительному увеличению фагоцитарной

активности макрофагов у экспериментальных животных с лимфомой. В результате уменьшались размеры опухоли, повышалась выживаемость животных [30].

Заключение

Таким образом, следует отметить высокий уровень и достаточное количество научных публикаций зарубежных и отечественных авторов, посвященных изучению биологической активности грибов рода *Cordyceps*, что свидетельствует о несомненной актуальности исследований в данной области. Однако современные исследователи лишены единого мнения относительно стадийности процесса активации иммунного ответа, в частности под воздействием грибных полисахаридов. В том числе отсутствует единое представление о возможных механизмах, клеточных мишенях реализации данной иммуномодуляции. В перспективе комплексная оценка иммунотропного потенциала и других биологических активностей кордицепса, а также детальный биохимический анализ компонентов грибного мицелия будут содействовать более полному информированию в области применения препаратов на их основе как средств вспомогательной терапии.

Библиографические ссылки

1. Halpern GM. The legend of *Cordyceps sinensis*. *Cordyceps: east and west*. In: *Healing mushrooms: ancient wisdom for better health*. New York: Garden City Park; 2007. Part 7. p. 70–71.
2. Бабицкая ВГ, Пучкова ТА, Черноок ТВ. Грибы рода *Cordyceps*: физиологически активные соединения, биологическое действие. *Биотехнология*. 2009; 1(2):42–48.
3. Пучкова ТА, Бабицкая ВГ, Щерба В. В. Влияние факторов среды на образование полисахаридов гриба *Cordyceps militaris*. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя біялагічных навук*. 2010;3:83–86.
4. Huang ZL, Jin JJ, Tong XM. The immunomodulatory effects of *Cordyceps sinensis* on dendritic cells derived from chronic myelogenous leukemia (CML). *Journal Medicine. Plants Research*. 2011;5(24):5925–5932.
5. Smirnov DA, Babitskaya VG, Puchkova TA. Some biologically active substances from a mycelial biomass of medicinal caterpillar fungus *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. (*Ascomycetes*). *International journal of Medicinal Mushrooms*. 2009;11(1):69–76.
6. Ng TB, Wang HX. Pharmacological actions of *Cordyceps*, a prized folk medicine. *Journal Pharmacy. Pharmacology*. 2005; 57:1509–1519.
7. YuR, Wang L, Zhang H. Isolation, purification and identification of polysaccharides from cultured *Cordyceps militaris*. *Fitoterapia*. 2004;75:662–666.
8. Park SE, Kim J, Lee Y-W. Antitumor activity of water extracts from *Cordyceps militaris* in NCI-H460 Cell Xenografted Nude Mice. *Journal Acupuncture. Meridian. Studies*. 2009;2(4):294–300.
9. Zhang W. Immunomodulatory and antitumour effects of exopolysaccharide fraction from cultivated *Cordyceps sinensis* (Chinese caterpillar fungus) on tumour-bearing mice. *Biotechnology. Applied. Biochemistry*. 2005;42(1):9–15.
10. Masuda M, Das ShK, Sakurai A. Production of cordycepin by a repeated batch culture of a *Cordyceps militaris* mutant obtained by proton beam irradiation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2011;111(1):55–60.
11. Zhang P, Huang C, Fu C. Cordycepin (3'-deoxyadenosine) suppressed HMGA2, Twist1 and ZEB1 dependent melanoma invasion and metastasis by targeting miR33b. *Oncotarget*. 2015;6(12):9834–9853.
12. Kuo CF, Chen ChCh, Luo YuH. *Cordyceps sinensis* mycelium protects mice from group A streptococcal infection. *Journal of Medical Microbiology*. 2005;54:795–802.
13. Бабицкая ВГ, Щерба ВВ, Гвоздкова ТС. *Cordyceps militaris* – объект современной биотехнологии. *Успехи медицинской микологии*. Москва: [б. н.]; 2007. с. 212–214.
14. Zhou X., Gong Zh., Su Y.. *Cordyceps* fungi: natural products, pharmacological functions and developmental products. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2009;61:279–291.
15. Shih IL, Tsai KL, Hsieh C. Effects of culture conditions on the mycelial growth and bioactive metabolite production in submerged culture of *Cordyceps militaris*. *Biochemical Engineering Journal*. 2007;33(3):193–201.
16. Zhong S, Pan H. J., Fan L. F. Polysaccharides of *Cordyceps* Species. *Food Technology. Biotechnology*. 2009; 47(3):304–312.
17. Kuo MC, Chang CYu, Cheng TL, et al. Immunomodulatory effect of exo-polysaccharides from submerged cultured *Cordyceps sinensis*: enhancement of cytokine synthesis, CD11b expression, and phagocytosis. *Journal Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007;75(4):769–775.
18. Jordan JL, Sullivan AM, Lee TD. Immune activation by a sterile aqueous extract of *Cordyceps sinensis*: mechanism of action. *Immunopharmacological. Immunotoxicological*. 2008;30(1):153–70.
19. Розанов СЕ, Петров АН. Препараты на основе мицелиальной культуры *Cordyceps*, как перспективный метод иммунотерапии. В: *Успехи медицинской микологии. Материалы конгресса; 24–25 марта 2005 г.; Москва, Россия*. Москва: [б. и.]; 2005. Том 5. С. 278–279.
20. Seth R, Haider SZ, Mohan M. Pharmacology, phytochemistry and traditional uses of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.: A recent update for future prospects. *Indian journal of traditional knowledge*. 2014;13(3):551–556.
21. Das A, Yoon SH, Lee SH. An update on microbial carotenoid production: application of recent metabolic engineering tools. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007;77(3):505–512.
22. Gu YX, Wang ZS, Li SX. Effect of multiple factors on accumulation of nucleosides and bases in *Cordyceps militaris*. *Food Chemistry*. 2007;102:1304–1309.
23. Park C, Hong SH, Lee JY. Growth inhibition of U937 leukemia cells by aqueous extract of *Cordyceps militaris* through induction of apoptosis. *Oncology Reports*. 2005;13(5):1211–1216.

24. Gu, Y, Wang Z., Yuan Q. The varieties of antioxidant activity of *Cordyceps militaris* during the submerged fermentation. *Electronic journal of Biology*. 2006;2(2):30–33.
25. Li SP, Zhang GH, Zeng Q. Hypoglycemic activity of polysaccharide, with antioxidation, isolated from cultured *Cordyceps mycelia*. *Phytomedicine. International journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*. 2006;13(6):428–433.
26. Zhao KR. Pharmacological effects of *Cordyceps sinensis*. *World Phytomed*. 2006;21:105–108.
27. Макаренко АН, Рудик МП, Довгий РС. Противоопухолевое действие веществ, полученных из высших грибов *Cordyceps sinensis* и *Ganoderma lucidum* в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. *Вісник проблем біології і медицини*. 2013; 1(2):30–35.
28. 2Lull C. Antiinflammatory and immunomodulating properties of fungal metabolites. *Mediators Inflammation*. 2005;2:63–80.
29. Автономова АВ. Оценка противоопухолевого действия препаратов погруженного мицелия видов рода *Cordyceps*. *Иммунопатология, аллергология, инфектология*. 2009;2:157–160.
30. Макаренко АН, Рудик МП, Святецкая ВН. Химический состав *Cordyceps sinensis* и особенности влияния отдельных его веществ на иммунную систему млекопитающих в условиях опухолевого роста. *Фитотерапия*. 2012;3:44–49.
31. Кордицепс военный – гриб-хищник с лечебными свойствами [Интернет]. [Прцитировано 8 февраля 2019]. Доступно по: <http://gribnikoff.ru/vidy-gribov/ne-sedobnye/korditseps-voennyj>.

References

1. Halpern, GM. The legend of *Cordyceps sinensis*. *Cordyceps: east and west*. In: *Healing mushrooms: ancient wisdom for better health*. New York: Garden City Park; 2007. Part 7. p. 70–71.
2. Babitskaya VG, Puchkova TA, Chernook TV. Fungi of the genus *Cordyceps*: a physio-logically active compounds, biological activity. *Biotechnology*. 2009;1(2): 42–48. Russian.
3. Puchkova TA., Babitskaya VG, Scherba VV. Influence of environmental factors on the formation of polysaccharides of the fungus *Cordyceps militaris*. *Vesci nacyjanalнай akademii navuk Belarusi. Seryja biyalahichnykh navuk*. 2010; 3:83–86. Russian.
4. Huang ZL, Jin JJ, Tong XM. The immunomodulatory effects of *Cordyceps sinensis* on dendritic cells derived from chronic myelogenous leukemia (CML). *Journal Medicinal. Plants Research*. 2011;5(24):5925–5932.
5. Smirnov DA, Babitskaya VG, Puchkova TA. Some biologically active substances from a mycelial biomass of medicinal caterpillar fungus *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. (Ascomycetes). *International journal of Medicinal Mushrooms*. 2009;11(1):69–76.
6. Ng TB, Wang, HX. Pharmacological actions of *Cordyceps*, a prized folk medicine. *Journal Pharmacy. Pharmacology*. 2005;57:1509–1519.
7. Yu R, Wang L, Zhang H. Isolation, purification and identification of polysaccharides from cultured. *Cordyceps militaris*. *Fitoterapia*. 2004;75:662–666.
8. Park SE, Kim J, Lee YW, et al. Antitumor activity of water extracts from *Cordyceps militaris* in NCI-H460 Cell Xenografted Nude Mice. *Journal Acupuncture. Meridian. Studies*. 2009; 2(4):294–300.
9. Zhang W. Is an antitumour and Immunomodulatory effects of exopolysaccharide fraction from cultivated *Cordyceps sinensis* (Chinese caterpillar fungus) on tumour-bearing mice. *Biotechnology. Applied. Biochemistry*. 2005;42(1):9–15.
10. Masuda M, Das ShK, Sakurai A. Production of cordycepin by a repeated batch culture of a *Cordyceps militaris* mutant obtained by proton beam irradiation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2011;111(1):55–60.
11. Zhang R, Huang C, Fu C. Cordycepin (3'-deoxyadenosine) suppressed HMG2, Twist1 and ZEB1 dependent melanoma invasion and metastasis by targeting miR33b. *Oncotarget*. 2015;6(12):9834–9853.
12. Kuo CF., Chen ChCh, Luo Yu. *Cordyceps sinensis* mycelium protects mice from group A streptococcal infection. *Journal of Medical Microbiology*. 2005;54:795–802.
13. Babitskaya VG, Shcherba VV, Gvozdkova TS, et al. [*Cordyceps militaris* is the object of modern biotechnology]. *Uspekhi medizinsoy mikologii* [Advances in medical Mycology]. Moscow: [publisher unknown] 2007. p. 212–214. Russian.
14. Zhou X, Gong Zh, SuY. *Cordyceps* fungi: natural products, pharmacological functions and developmental products. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2009;61:279–291.
15. Shih IL, Tsai KL, Hsieh C. Effects of culture conditions on the mycelial growth and bioactive metabolite production in submerged culture of *Cordyceps militaris*. *Biochemical Engineering journal*. 2007;33(3):193–201.
16. Zhong S, Pan HJ, Fan LF. Polysaccharides of *Cordyceps* Species. *Food Technology. Biotechnology*. 2009;47(3): 304–312.
17. Kuo MC, Chang, CYu, Cheng TL. Immunomodulatory effect of exo-polysaccharides from submerged cultured *Cordyceps sinensis*: enhancement of cytokine synthesis, CD11b expression, and phagocytosis. *Journal Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007;75(4):769–775.
18. Jordan JL, Sullivan AM, Lee TD. Immune activation by a sterile aquatic extract of *Cordyceps sinensis*: mechanism of action. *Immunopharmacological. Immunotoxicological*. 2008;30(1):53–70.
19. Rozanov SE, Petrov AN. [Preparations based on *Cordyceps* mycelial culture as a promising method of immunotherapy]. In: *Uspekhi medizinsoy mikologii. Materialy kongressa; 24–24 marta 2005 g.; Moskva, Rossiya* [Advances in medical Mycology. Proceedings of the Congress; 2005 March 24–25; Moscow, Russia]. Moscow: [publisher unknown]: 2005. Volume 5. p. 278–279. Russian.
20. Seth R, Haider sinensis (USA), Mohan M. Pharmacology, phytochemistry and traditional uses of *Cordyceps sinensis* (Berk). Sacc. A recent update for future prospects. *Indian journal of traditional knowledge*. 2014;13(3):551–556.
21. Das A, Yoon SH, Lee SH, et al. An update on microbial carotenoid production: application of recent metabolic engineering tools. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007; 77(3):505–512.
22. Gu YX, Wang ZS, Li SX, et al. Effect of multiple factors on accumulation of nucleosides and bases in *Cordyceps militaris*. *Food Chemistry*. 2007;102:1304–1309.
23. Park C, Hong SH, Lee JY, et al. Growth inhibition of U937 leukemia cells by aqueous extract of *Cordyceps militaris* through induction of apoptosis. *Oncology Reports*. 2005;13(6):1211–1216.
24. GuY, Wang Z, Yuan Q. The variations of antioxidant activity of *Cordyceps militaris* during the submerged fermentation. *Electronic journal of biology*. 2006;2(2):30–33.

25. Li SP, Zhang G, Zeng Q, et al. Hypoglycemic activity of polysaccharide, with an-tioxidation, isolated from cultured *Cordyceps mycelia*. *Phytomedicine. International journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*. 2006;13(6):428–433.
26. Zhao KR. Pharmacological effects of *Cordyceps sinensis*. *World Phytomed*. 2006;21:105–108.
27. Makarenko AN, Rudik MP, Dovgij R. S. Antitumor activity of substances obtained from higher fungi *Cordyceps sinensis* and *Ganoderma lucidum* *in vitro* and *in vivo*. *Bulletin of problems in biology and medicine*. 2013;2(3):30–35. Russian.
28. Lull C. Antiinflammatory and immunomodulating properties of fungal metabolites. *Mediators Inflammation*. 2005;2:63–80.
29. Avtonomov AV. Evaluation of antitumor drug-loaded mycelium of species of the genus *Cordyceps*. *Immunopathology, Allergology, infectionstology*. 2009;2:157–160. Russian.
30. Makarenko AN, Rudik MP, Swiatecka VN, et al. Chemical composition *Cordyceps sinensis* and especially the impact of individual substances on the immune system of mammals in terms of tumor growth. *Phytotherapy*. 2012;3:44–49. Russian.
31. *Cordyceps military* – fungus-predator with healing properties [Internet]. [Cited 2019 February 8]. Available from: <http://gribnikoff.ru/vidy-gribov/ne-sedobnye/korditseps-voennyj>.

Статья поступила в редакцию 25.02.2019.
Received by editorial board 25.02.2019.

УДК 541.15:543.426

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕКСАГИДРОХИНОЛОНОВ

Е. И. ТАРУН¹⁾, А. В. ДАНЬКОВА¹⁾, А. Н. ПЫРКО¹⁾

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

Проведена сравнительная характеристика антиоксидантных свойств 5 гексагидрохинолонов различной структуры. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации гексагидрохинолонов, из которых графически определены показатели IC_{50} . Значения этих показателей находились в пределах $0,32 - 5,5 \cdot 10^{-7}$ М. Гексагидрохинолоны показывают высокую антиоксидантную активность, восстанавливая интенсивность флуоресценции флуоресцеина до 76–94 %. Сделан анализ вклада таких отдельных функциональных групп, как метоксигруппы и карбоэтоксигруппы, а также их количества и местоположения относительно друг друга при связывании свободных радикалов.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; гексагидрохинолоны; флуоресцеин.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF HEXAHYDROQUINOLINES

E. I. TARUN^a, A. V. DANKOVA^a, A. N. PYRKO^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daïhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: ktarun@tut.by

Comparative characteristics of the antioxidant properties of five different structures held hexahydroquinolones conducted. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein from the logarithm of the concentration of hexahydroquinolones, of which graphically determined indicators IC_{50} . IC_{50} values in this series was $0,32-5,5 \cdot 10^{-7}$ M. Hexahydroquinolones have a high antioxidant activity, restoring the fluorescein fluorescence intensity to 76–94 %. An analysis of the contribution of individual functional groups, such as methoxy groups and carboethoxy groups, as well as their amounts and locations relative to each other during the binding of free radicals is done.

Key words: antioxidant activity; hexahydroquinolones; fluorescein.

Введение

Развитие химии неароматических азотсодержащих гетероциклов имеет важное значение для создания аналогов природных соединений, обладающих специфическим биологическим действием и играющих

Образец цитирования:

Тарун ЕИ, Данькова АВ, Пырко АН. Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:77–83.

For citation:

Tarun EI, Dankova AV, Pyrko AN. Antioxidant activity of hexahydroquinolones. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:77–83. Russian.

Авторы:

Екатерина Ивановна Тарун – кандидат химических наук, доцент кафедры экологической химии и биохимии, доцент.
Анастасия Владимировна Данькова – студентка.
Пырко Анатолий Николаевич – кандидат химических наук, доцент кафедры экологической химии и биохимии, доцент.

Authors:

Ekaterina I. Tarun, PhD (chemistry), docent; associate professor at the department of environmental chemistry and biochemistry.
ktarun@tut.by
Anastasiya V. Dankova, student.
demure-m@ya.ru
Pyrko Anatoly Nikolaevich, PhD (chemistry), docent; associate professor at the department of environmental chemistry and biochemistry.
pyrko1950@mail.ru

уникальную роль в живых системах. Азотсодержащие гетероциклы являются одним из основных классов соединений, используемых для изыскания и отбора новых лекарственных препаратов с широким спектром физиологической активности. Хинолон обладает бактерицидным, антисептическим и жаропонижающим действием, но в медицине не применяется из-за высокой токсичности (низкого значения терапевтического индекса). В настоящее время синтезированы многочисленные производные хинолона с различной фармакологической активностью [1]. Среди соединений класса гексагидрохинолонов (ГХ) найдены вещества, проявляющие кардиоваскулярную, гепатопротекторную, антиоксидантную, антидиабетическую, противоязвенную, противотуберкулезную, антибактериальную, противовирусную, противоопухолевую активности [2–5].

Метод определения антиоксидантной активности (АОА) по отношению к активированным формам кислорода (АФК) является одним из наиболее применяемых в настоящее время [6; 7]. Он основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe^{2+}) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [8; 9]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства. Наличие в структуре гексагидрохинолонов эфирных групп, способных подвергаться окислению, позволяет рассматривать эти соединения как потенциальные скавенджеры свободных радикалов. Представляет интерес сравнение антиоксидантной активности различных по структуре гексагидрохинолонов для выявления вклада отдельных функциональных групп при связывании свободных радикалов.

Цель исследования – сравнительное изучение антиоксидантной активности пяти различных по структуре гексагидрохинолонов.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе проведена сравнительная характеристика антиоксидантных свойств пяти производных гексагидрохинолона, включающих в своей структуре 1,4-дигидропиридиновый цикл: 2,7,7-триметил-4-пропил-3-карбоэтокси-1,4,5,6,7,8-гексагидрохинолон-5 (ГХ I), 2,7,7-триметил-4-бензил-3-карбоэтокси-1,4,5,6,7,8-гексагидрохинолон-5 (ГХ II), 2,7,7-триметил-4-(2'-метоксифенил)-3-карбоэтокси-1,4,5,6,7,8-гексагидрохинолон-5 (ГХ III), 2,7,7-триметил-4-(3',4'-диметоксифенил)-3-карбоэтокси-1,4,5,6,7,8-гексагидрохинолон-5 (ГХ IV), 2-метил-4-(2'-метоксифенил)-3,6-дикарбоэтокси-7-(2'-тиоэтилпропил)-1,4,5,6,7,8-гексагидрохинолон-5 (ГХ V). Растворы гексагидрохинолонов готовили в диметилформамиде.

Методика определения антиоксидантной активности гексагидрохинолонов. Общий объем пробы, помещаемый в кювету, составлял 2 мл. Интенсивность флуоресценции определяли в образцах следующего состава:

0,02 мл флуоресцеина ($2 \cdot 10^{-6}$ М) и 1,98 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера;

0,02 мл флуоресцеина ($2 \cdot 10^{-6}$ М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 1,58 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера и 0,2 мл H_2O_2 (10^{-2} М);

0,02 мл флуоресцеина ($2 \cdot 10^{-6}$ М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 0,2 мл гексагидрохинолона (10^{-11} - 10^{-3} М), 0,2 мл H_2O_2 (10^{-2} М) и 1,38 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера.

Реакцию начинали добавлением 0,2 мл H_2O_2 (10^{-2} М).

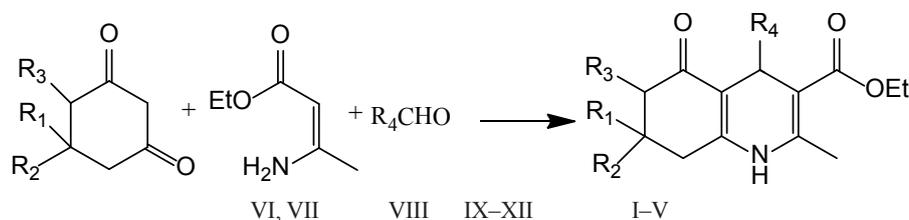
Конечные концентрации: флуоресцеин – $2 \cdot 10^{-8}$ М, Fe^{2+} – 10^{-4} М, ЭДТА – 10^{-4} М, H_2O_2 – 10^{-3} М, гексагидрохинолон – 10^{-12} – 10^{-4} М.

Полученные значения пиков флуоресценции выражали в процентах, взяв за 100 % флуоресценцию раствора без Fe^{2+} , ЭДТА, гексагидрохинолона и H_2O_2 .

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Общая методика синтеза гексагидрохинолонов (I–V). Производные 1,4,5,6,7,8- гексагидрохинолона доступны благодаря различным вариантам синтеза Ганча [10–12]. Исследованные нами соединения I–V получены методом, описанным в работе [13], заключающемся в трехкомпонентном взаимодействии эквивалентных количеств циклогександионов VI, VII, N-аминоэфира VIII и альдегидов IX–XII (рис. 1). Преимущества данного метода заключаются в проведении реакции при комнатной температуре, использовании в качестве растворителя безопасного этилового спирта и отсутствие токсичных катализаторов.

Кроме того, выпадающие в ходе реакции кристаллические осадки гексагидрохинолонов не требуют очистки.



$R_1 = \text{Me}$ (I–IV,VI), H (V); $R_2 = \text{Me}$ (I–IV,VI), $2\text{-(SEt)C}_3\text{H}_6$ (V,VII); $R_3 = \text{H}$ (I–IV, VI), CO_2Et (V, VII); $R_4 = \text{C}_3\text{H}_7$ (I,IX), CH_2Ph (II,X), $o\text{-MeOC}_6\text{H}_4$ (III,V,XI), $3,4\text{-(MeO)}_2\text{C}_6\text{H}_3$ (IV,XII)

Рис. 1. Схема синтеза гексагидрохинолонов (I–V)

Fig. 1. Synthesis Scheme of Hexahydroquinolones (I–V)

10 ммоль циклогександиона-1,3 (VI либо VII), 10 ммоль N-аминоэфира (VIII) и 10 ммоль соответствующего альдегида (IX–XII) растворяли в 40 мл этанола. Спустя сутки, выпавшие кристаллы фильтровали, промывали 5 мл этанола и сушили на воздухе. Выход продуктов 85–95 %.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования ингибирования реакций свободных радикалов, генерируемых в системе Фентона, получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации всех образцов гексагидрохинолонов. Исследования проведены в широком диапазоне концентраций 10^{-12} – 10^{-4} М. На рис. 2 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации гексагидрохинолонов ГХ I (1) и ГХ II (2). Образцы ГХ I и ГХ II начинали проявлять АОА при концентрации 10^{-8} М. При последующем увеличении концентрации гексагидрохинолонов наблюдается увеличение подавления действия свободных радикалов и возрастание флуоресценции флуоресцеина до 92 % (1) и 93 % (2). Из графиков зависимостей определены показатели IC_{50} , значения которых представлены в табл. 1.

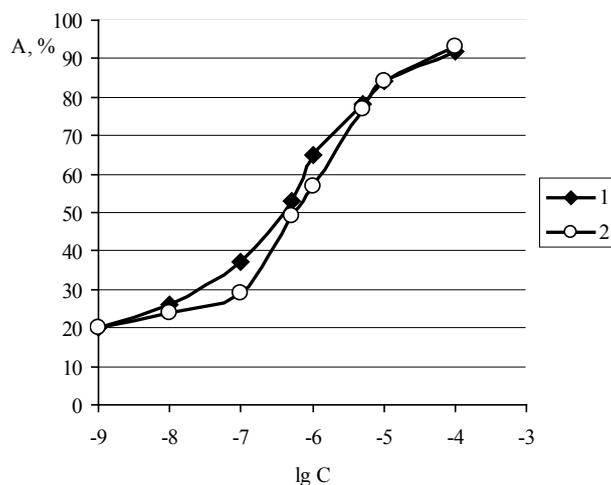


Рис. 2. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации гексагидрохинолонов ГХ I (1) и ГХ II (2)

Fig. 2. The fluorescence intensity of fluorescein (A) depends on the logarithm of the concentration of hexahydroquinolones HQ I (1) and HQ II (2)

На рис. 3 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации гексагидрохинолонов ГХ III (1), ГХ IV (2) и ГХ V (3). Образцы ГХ III и ГХ V начинали проявлять АОА при концентрации 10^{-8} М. Образец ГХ IV показал максимальное восстановление интенсивности флуоресценции флуоресцеина до 94 % при значительно более низкой концентрации 10^{-12} М. Образец ГХ V подавлял действие свободных радикалов на 82 %, что в 1,15 раз ниже действия ГХ IV. Образец ГХ III восстанавливал интенсивность флуоресценции флуоресцеина до 76 %, что в 1,24 раза

ниже действия ГХ IV. Из графиков зависимостей определены показатели IC_{50} , значения которых представлены в табл. 1.

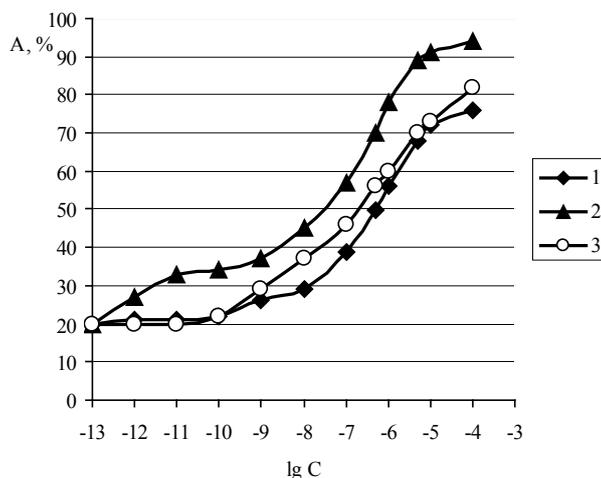


Рис. 3. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации гексагидрохинолонов ГХ III (1), ГХ IV (2) и ГХ V (3)

Fig. 3. The fluorescence intensity of fluorescein (A) depends on the logarithm of the concentration of hexahydroquinolones HQ III (1), HQ IV (2) and HQ V (3)

В табл. представлены основные показатели антиоксидантной активности: A_{max} – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов, C_{max} – концентрация гексогидрохинолона, при которой достигается A_{max} и IC_{50} – концентрация гексогидрохинолона, в результате чего происходит 50 % ингибирования свободных радикалов.

Таблица

Показатели антиоксидантной активности гексогидрохинолонов

Table

Indicators of antioxidant activity of hexahydroquinolones

Наименование образца	A_{max} , %	C_{max} , M	$IC_{50} \cdot 10^{-7}$, M
ГХ IV 	94	10^{-4}	0,32
ГХ V 	82	10^{-4}	1,62

<p>ГХ III</p>	76	10^{-4}	4,17
<p>ГХ I</p>	92	10^{-4}	4,22
<p>ГХ II</p>	93	10^{-4}	5,5

Все исследованные образцы гексагидрохинолонов показали высокую антиоксидантную активность. Гексагидрохинолоны ГХ I, ГХ II и ГХ IV восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина на 92–94 %. Гексагидрохинолоны ГХ V и ГХ III восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина на 82 и 76 % соответственно. При этом их концентрация была достаточно невелика – 10^{-4} М.

Минимальный показатель IC_{50} получен для образца ГХ IV ($0,32 \cdot 10^{-7}$ М), что свидетельствует о его самой высокой антиоксидантной активности. Все образцы различаются разным количеством и составом эфирных групп, однако только вышеназванные группы обуславливают антиоксидантную активность гексагидрохинолонов. ГХ IV имеет в своем составе две метоксигруппы, присоединенные к фенильному остатку и одну карбоэтоксигруппу в 3-ем положении. Гексагидрохинолон ГХ V имеет в своем составе одну метоксигруппу, присоединенную к фенильному остатку и две карбоэтоксигруппы в 3-ем и 6-ом положении. Его показатель IC_{50} ($1,62 \cdot 10^{-7}$ М) в 5 раз выше, чем аналогичный показатель ГХ IV. Очевидно, метоксигруппы являются более активными ловушками свободных радикалов, чем карбоэтоксигруппы. Возможно, разветвленная структура тиоэтилпропильной группы в 7-ом положении ГХ V препятствовала подходу свободных радикалов к карбоэтоксигруппе в 6-ом положении.

Показатель IC_{50} гексагидрохинолона ГХ III ($4,17 \cdot 10^{-7}$ М) в 13 раз выше аналогичного показателя ГХ IV. ГХ III и ГХ IV имеют очень схожие структуры. Они отличаются количеством метоксигрупп – ГХ IV имеет две метоксигруппы, а ГХ III – одну метоксигруппу в фенильном остатке. Значительное отличие показателей IC_{50} этих образцов свидетельствует о том, что именно метоксигруппы являются основными ингибиторами свободных радикалов. Важным фактором также является их количество и расположение относительно друг друга. Гексагидрохинолон ГХ V также, как и ГХ III имеет одну метоксигруппу в фенильном остатке, однако его показатель IC_{50} в 2,6 раза ниже, чем у ГХ III. В отличие от ГХ III, ГХ V содержит в своем составе дополнительную карбоэтоксигруппу в 6 положении. Это служит доказательством того, что карбоэтоксигруппы также участвуют в процессе ингибирования свободных радикалов.

Максимальный показатель IC_{50} получен для гексагидрохинолона ГХ II ($5,5 \cdot 10^{-7}$ М), что свидетельствует о его более слабых антиоксидантных свойствах по сравнению с другими образцами. Этот показатель

в 17 раз выше аналогичного показателя ГХ IV и в 1,3 раза выше показателя IC_{50} ГХ III. Структуры этих гексагидрохинолонов отличаются количеством метоксигрупп, присоединенных к фенильному остатку. У ГХ IV таких групп – две, у ГХ III – одна, у ГХ II эти группы отсутствуют. Сравнение антиоксидантной активности этих гексагидрохинолонов позволяет сделать предположение, что метоксигруппы играют существенную роль в процессе ингибирования свободных радикалов. Их отсутствие у ГХ II значительно снижает его АОО. Две метоксигруппы, присоединенные к фенильному остатку в орто-положении, являются гораздо более эффективными ингибиторами свободных радикалов, чем одна метоксигруппа.

Показатель IC_{50} гексагидрохинолона ГХ I ($4,22 \cdot 10^{-7}$ М) сравним с аналогичным показателем ГХ III, хотя в его структуре нет метоксигрупп, в отличие от ГХ III. Это служит доказательством того, что наличие одной метоксигруппы не приводит к значительному усилению антиоксидантной активности гексагидрохинолона. Показатель IC_{50} гексагидрохинолона ГХ I в 1,3 раза ниже аналогичного показателя ГХ II. Эти образцы отличаются тем, что в структуре ГХ I в положении 4 находится остаток пропила, а в структуре ГХ II – остаток бензила. Наличие в структуре ГХ II бензильного остатка уменьшает его антиоксидантную активность.

При высоких концентрациях радикальные продукты окисления гексагидрохинолонов могут взаимодействовать с флуоресцеином и снижать его флуоресценцию. Возможно, это оказало влияние на более низкие показатели A_{max} (76 и 82 %), полученные для ГХ III и ГХ V.

Заключение

Оценивая показатели A_{max} (76–94 %) и IC_{50} ($0,32$ – $5,5 \cdot 10^{-7}$ М) можно сделать вывод о высоких ингибиторных способностях гексагидрохинолонов по отношению к свободным радикалам. Сравнение антиоксидантной активности гексагидрохинолонов свидетельствует, что она зависит от наличия в структуре этих соединений таких эфирных групп, как метоксигруппы и карбоэтоксигруппы, а также их количества и расположения относительно друг друга.

Библиографические ссылки

1. Сталл Д, Вестрам Э, Зинке Г. Химическая термодинамика органических соединений. Москва: Мир; 1971. с. 807.
2. Hudson BD, Christiansen E, Murdoch H, et al. Complex pharmacology of novel allosteric free fatty acid 3 receptor ligands. *Molecular Pharmacology*. 2014;86(2):200–210.
3. Нецаева ОВ., Плотников ОП. Влияние гетероциклических соединений, обладающих антиоксидантной активностью на собственные окислительные системы бактериальной клетки. Саратов: Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского; 2007. с. 23 – 26.
4. Ukrainets IV, Kolesnik EV, Sidorenko LV. Chemistry of Heterocyclic Complexes. Kharkiv: National University of Pharmacy, 2007. Volume 43(3). p. 326–333.
5. Панкина ОЮ, Коваль ТС, Бородкин ЯС, Коротких МИ. Синтез новых конденсированных производных 1,4,5,6,7,8-гексагидро-5-хинолонов. *Журнал органичної та фармацевтичної хімії*. 2013;11(2):63–65.
6. Cao GH, Alessio HM, Cutler RG. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 1993;3(14):303–311.
7. Ehlenfeldt MK, Prior RI. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001;49:2222–2227.
8. Сычев АЯ, Исак ВГ. Гомогенный катализ соединениями железа. Кишинев: Штиинца; 1988. 216 с.
9. Wei Y. A novel H_2O_2 -triggered anti-Fenton fluorescent pro-chelator excitable with visible light. *Chemical Communications*. 2009;11:1413–1415.
10. Гейн ВЛ, Казанцева МИ, Курбатова АА. Синтез 4,N-диарил-2-метил-5-оксо-1,4,5,6,7,8-гексагидро-3-хинолинкарбоксамидов. *Журнал органической химии*. 2011;6:971–972.
11. Гейн ВЛ, Казанцева МИ, Курбатова АА. Синтез N-фенил-2,7,7-триметил-5-оксо-4-арил-1,4,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбоксамидов. *Химия гетероциклических соединений*. 2010;5:784–786.
12. Sapkal SB, Shelke KF, Shingare BB, Shingare MS. Nickel nanoparticle-catalyzed facile and efficient one-pot synthesis of polyhydroquinoline derivatives via Hantzsch condensation under solvent-free conditions. *Tetrahedron Letters*. 2009;50(15):1754–1756.
13. Станкевич ЭИ, Гринштейн ЭЭ, Ваняг ГЯ. Несимметричные трехуглеродные конденсации с димедоном. *Химия гетероциклических соединений*. 1966;4:583–585.

References

1. Stall D, Vestram A, Zinke G. *Khimicheskaya termodinamika organicheskikh soedinenij* [Chemical thermodynamics of organic compounds]. Moscow: Mir; 1971. p. 807. Russian.
2. Hudson BD, Christiansen E, Murdoch H, et al. Complex pharmacology of novel allosteric free fatty acid 3 receptor ligands. *Molecular Pharmacology*. 2014;86(2): 200–210.
3. Nechaeva OV, Plotnikov OP. *Vliyanie geteroziklicheskich soedineniy, obladayushchikh antioksidantnoy aktivnost'yu na sobstvennyye okislitel'nye sistemy bakterial'noy kletki* [Effect of heterocyclic compounds possessing antioxidant activity on the bacterial cell's own oxidative systems]. Saratov: Saratov State Medical University. named after V. I. Razumovsky; 2007. p. 23–26. Russian.

4. Ukrainets IV, Kolesnik EV, Sidorenko LV. Chemistry of Heterocyclic Complexes. Kharkiv: National University of Pharmacy; 2007. Volume 43(3). p. 326–333.
5. Pankina OY., Koval TS., Borodkin YS., Korotkix MI. Sintez novix kondensirovannix proizvodnix 1,4,5,6,7,8-gexagidro-5-xinolonov. [Synthesis of new condensed derivatives of 1,4,5,6,7,8-hexahydro-5-quinolones]. *Jurnal organichnoy ta farmazevtichnoy khimii* [Journal of Organic and Pharmaceutical Chemistry]. 2013;11(2):63–65. Russian.
6. Cao GH, Alessio HM, Cutler RG. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 1993;3(14):303–311.
7. Ehlenfeldt MK, Prior RI. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistr*. 2001;49:2222–2227.
8. Sichev AY, Isak VG. *Gomogenny kataliz soedineniyami jeleza*. [Homogeneous catalysis with iron compounds]. Kishinev: Shtiintsa;1988. Russian.
9. Wei Y. A novel H₂O₂-triggered anti-Fenton fluorescent pro-chelator excitable with visible light. *Chemical Communications*. 2009;11:1413–1415.
10. Geyn VL, Kazanszeva M, Kurbatova AA. Sintez 4,N-diaril-2-metil-5-okso-1,4,5,6,7,8-geksagidro-3-khinolinkarboksamidov [Synthesis of 4, N-diaryl-2-methyl-5-oxo-1,4,5,6,7,8-hexahydro-3-quinolinecarboxamide]. *Jurnal organicheskoy khimii*. [Journal of Organic Chemistry]. 2011;6:971–972. Russian.
11. Geyn VL, Kazanszeva MI, Kurbatova AA. Sintez N-pheil-2,7,7-trimetil-5-okso-4-aril-1,4,5,6,7,8-geksagidrokhinolin-3-karboksamidov. [Synthesis of N-phenyl-2,7,7-trimethyl-5-oxo-4-aryl-1,4,5,6,7,8-hexahydroquinoline-3-carboxamides]. *Khimiya geteroziklicheskih soedineniyi* [Chemistry heterocycle. connection]. 2010;5:784–786. Russian.
12. Sapkal SB, Shelke KF, Shingate BB, Shingare MS. Nickel nanoparticle-catalyzed facile and efficient one-pot synthesis of polyhydroquinoline derivatives via Hantzsch condensation under solvent-free conditions. *Tetrahedron Letters*. 2009;50(15):1754–1756.
13. Stankevich EI, Grinshteyn EE, Vanag GY. *Nesimmetrichnye trekhuglerodnye kondensatsii s dimedonom*. [Unsymmetric three-carbon condensations with dimedon]. *Khimiya geteroziklicheskih soedineniyi* [Chemistry heterocycle. connections]. 1966;4:583–585. Russian.

Статья поступила в редакцию 17.04.2019.
Received by editorial board 17.04.2019.

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 691.175.5/8:621.798

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В. В. ЛИТВЯК¹⁾

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

Анализируется мировой рынок и применение биоразлагаемых полимерных материалов, а также перспективы их внедрения в Беларуси. Охарактеризованы основные биоразлагаемые полимерные материалы, в том числе полученные с использованием оксибиоразлагаемых добавок. Установлено, что интенсификация исследований в области создания биоразлагаемых полимеров является одним из перспективных направлений решения глобальной экологической проблемы, связанной с загрязнением окружающей среды отходами полимерных материалов.

Ключевые слова: полимеры; биоразлагаемые материалы; упаковочные материалы; оксибиоразлагаемые полимерные материалы.

Образец цитирования:

Литвяк ВВ. Перспективы производства современных упаковочных материалов с применением биоразлагаемых полимерных композиций. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;2:84–94.

For citation:

Lityyak VV. Prospects of manufacture of modern packaging materials with the application of biodegraded polymer compositions. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;2:84–94. Russian.

Автор:

Владимир Владимирович Литвяк – доктор технических наук, доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Author:

Vladimir V. Lityyak, doctor of science (engineering), associate professor at the department of environmental medicine and radiobiology.
besserk1974@mail.ru

PROSPECTS OF MANUFACTURE OF MODERN PACKAGING MATERIALS WITH THE APPLICATION OF BIODEGRADABLE POLYMER COMPOSITIONS

V. V. LITVYAK^a

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

The world market and application of biodegradable polymeric materials, and also their prospects in Belarus is shown. The basic biodecomposed polymeric materials, including received with use oxobiodegradables additives are characterised. It is found, that the intensification of researches in the field of creation of biodegradable polymers is one of perspective directions of the decision of the global environmental problem related to environmental contamination by a waste of polymeric materials.

Key words: polymers; biodegradable materials; packaging materials; oxibiodegradable polymeric materials.

Введение

Серьезную озабоченность вызывает в последнее время быстрый и практически неуправляемый рост потребления синтетических пластмасс во многих отраслях экономики. В наше время тара из пластика применяется для упаковки пищевых продуктов, лекарств, электроники, опасных жидкостей и т. д. Широкое использование пластиков обусловлено тем, что они обеспечивают надежную защиту упакованного продукта от загрязнения, повреждения, разложения, а также универсальностью применения форм и цветовой гаммы, легкостью, дешевизной сырья, малой энергоемкостью производства по сравнению со стеклом, металлом и бумагой [1–13].

Обладея неоспоримыми достоинствами, эти материалы имеют ряд существенных недостатков. Для получения традиционных пластмасс используются невозполнимые природные ресурсы (к 2050 г. человечество исчерпает половину глобальных запасов нефти, что приведет к беспрецедентному скачку цен). Синтетические полимеры в нормальном состоянии длительно разлагаются. Свойства эластичности, прочности, стойкости к окислению и долговечности объясняются их молекулярным строением: молекулярные цепочки полимеров длинные, разветвленные, молекулярная масса, например, полиэтилена в 17 тыс. раз больше молекулярной массы воды. Следует отметить, что даже такие полимеры, как полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП), способны через длительное время разрушаться. При окислении, биохимическом распаде, для которых необходимы сотни лет, при высоких температурах происходит постепенное разрушение полимерных молекулярных цепочек. Достаточно интенсивные темпы роста использования полимерной упаковки приводят к резкому увеличению количества отходов. Традиционные способы обращения с ними – захоронение, сжигание, вторичная переработка и др. – не всегда экологически и экономически оправданы. Как следствие, необходимо получение полимеров, которые сохраняют эксплуатационные характеристики только в течение периода потребления, а затем претерпевают физико-химические и биологические превращения под действием факторов окружающей среды и легко включаются в процессы метаболизма природных биосистем. В известной книге «Полдень, XXII век» А. и Б. Стругацкие отмечали: «Мы не просто уничтожаем мусор и не создаем мерзких свалок на дне океанов. Мы превращаем мусор в свежий воздух и солнечный свет».

Результаты исследования и их обсуждение

Разложение бытовых отходов происходит очень медленно [14]: бумага – *от 2 до 10 лет* (ущерб природе не наносит, но краска, которой она покрыта, может выделять ядовитые газы); полиэтиленовый пакет – *более 200 лет* (следует отметить, что многие страны *отказываются от использования пластиковых пакетов!*); пластмасса – *500 лет* (плюс при переработке пластика в атмосферу выделяются *токсичные химические вещества*); стекло – *более 1000 лет* (производится из кварцевого песка и устойчиво к агрессивным средам); фильтр от сигареты – *100 лет* (оставшиеся после курения токсичные вещества и ацетат целлюлозы, из которых состоит фильтр, задерживают процесс разложения).

Эффективный и распространенный способ придания биологической разрушаемости синтетическим полимерам – это введение в полимерную композицию различных наполнителей, в частности крахмала и других ингредиентов [5; 7–10; 12; 13]. Техничко-экономический анализ рассматриваемых ранее научно-исследовательских работ свидетельствует, что наиболее целесообразно выпускать биополимерные

разлагающиеся композиции на основе крупнотоннажных синтетических (полиолефинов) и природных материалов – кукурузы, картофеля и т. д. [10].

Рынок биоразлагаемых полимерных материалов (ПМ). Интерес к биополимерам в Европе, особенно в современных условиях галопирующего роста цен на нефть, продолжает усиливаться. В Европе с 2000 г. действует стандарт EN 13432, принятый Европейским союзом, регламентирующий требования к биодegradирующим полимерам. Факторы, влияющие на рынок биополимеров, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы, влияющие на рынок биополимеров

Table 1

Factors affecting the biopolymer market

Технологические	1. Достижения в области молекулярной биологии, способах ферментации, генной инженерии и селекции растений
	2. Прогресс в области создания композитов и компаундирования
	3. Реализация крупномасштабных, экономических проектов
	4. Осуществление «органического» рециклинга вместо механического
Экономические	1. Рост стоимости природных ресурсов
	2. Увеличение затрат на утилизацию отходов
	3. Повышение конкурентоспособности биополимеров за счет пошлин, взимаемых с загрязнителей окружающей среды
Политические	1. Нормативно-законодательные акты
	2. Региональная поддержка
Социальные	1. Лояльное восприятие биополимеров обществом
	2. Экологическая просвещенность потребителей

На долю биопластмасс приходится примерно 10–15 % общего объема современного рынка пластмасс. К 2020 г. эта доля составит 25–30 %. Стимул для такого рыночного бума – новое применение и инновации в области упаковки. Согласно результатам исследований European Bioplastics (европейской ассоциации производителей, поставщиков и потребителей биопластиков и других биоразлагаемых материалов), в 2007 г. в мире было изготовлено 262 тыс. т биополимеров. При этом 80 % получено из растительного сырья и являются биодegradирующими; 12 % изготовлено из натуральных компонентов, но в естественных условиях не разрушаются; 8 % биопластиков произведено из синтетического сырья и способно к биодegradации (рис. 1, 2). Согласно прогнозам, мировой объем производства всех биополимеров составит около 116 тыс. т. Потребление биоразлагаемых упаковочных материалов в мире ежегодно увеличивается на 22 % [8].

Свою оценку также проводила компания Toyota. Японцы полагают, что в связи с ростом интереса к возобновляемым источникам сырья, к 2020 г. уже четверть мирового рынка пластмасс будет приходиться на биопластики, а это составляет около 30 млн т.

Биоразлагаемые полимерные материалы по способу их изготовления подразделяются на несколько основных групп:

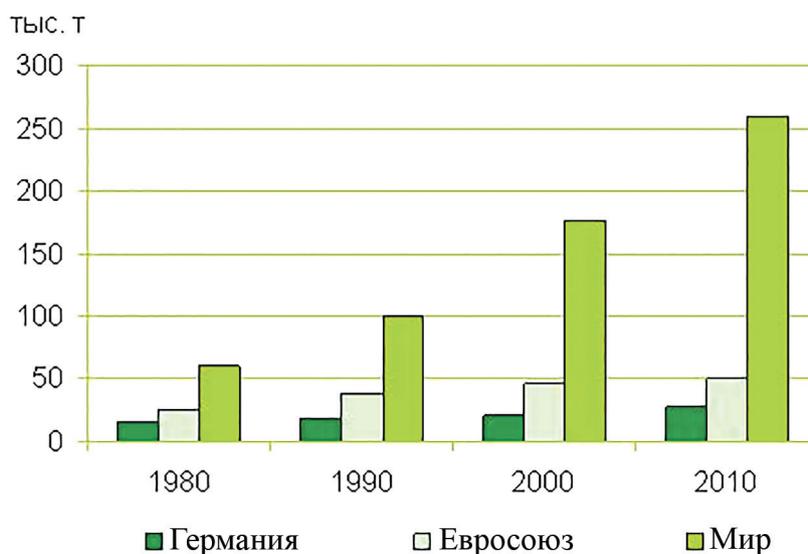
- полимерные материалы на основе природных полимеров (натуральный каучук, белки, полисахариды, хитин, эпоксицированные масла, полимеры из ненасыщенных растительных масел, лигнин и т. д.);
- химически синтезированные полимеры;
- микробиологические синтезированные полимеры и их смеси;
- композиционные материалы.

Характеристика основных биоразлагаемых ПМ. Скорость разложения биополимерных материалов зависит от ряда факторов – вида, влажности, температуры, светового воздействия, микробиологической популяции и др. Высокой способностью к биодеструкции обладают природные и синтетические полимеры, которые содержат химические связи, легко подвергаемые гидролизу. Присутствие заместителей в полимерной цепи часто способствует повышению биодеструкции, зависящей также от степени замещения цепи и длины ее участков между функциональными группами [13].

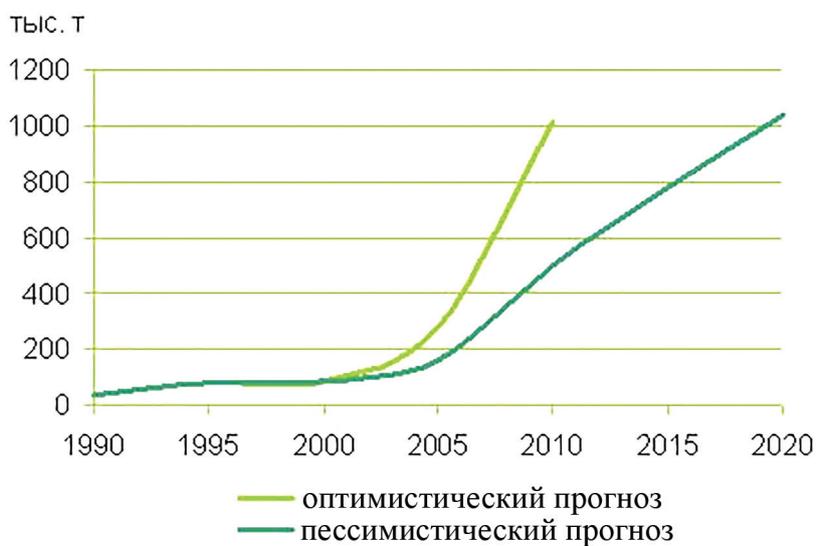
Фактор, влияющий на стойкость полимеров к биоразложению, – величина их молекул. В то время как мономеры или олигомеры могут легко поражаться микроорганизмами, биополимеры с большой молекулярной массой более устойчивы к их воздействию. Биодеструкцию большинства технических полимеров инициируют такие процессы небиологического характера, как термическое и фотоокисление, термо-

лиз, механическая деградация и т. п. На биодegradацию синтетических полимеров существенно влияет их надмолекулярная структура. Известно, что компактное расположение структурных фрагментов полукристаллических и кристаллических полимеров ограничивает их набухание в воде и препятствует проникновению ферментов в полимерную матрицу. Это затрудняет воздействие ферментов микроорганизмов не только на главную углеродную цепь полимера, но и на биоразрушаемые участки цепи. Кроме того, аморфная часть полимера всегда менее устойчива к биодеструкции, чем кристаллическая [4].

Наибольшее распространение в настоящее время получил способ изготовления биопластика, основанный на введении в синтетический полимер веществ растительного происхождения, служащих питательной средой для микроорганизмов, инициирующих разрушение полимера при определенных условиях среды [10].



a/a



b/b

Рис. 1. Динамика (a) и перспективы (b) роста пластмасс и биополимеров (по материалам выступления М. Ю. Плетнева на Международном саммите «Современная упаковка: аналитика, инновации, креатив» на международной выставке «Rosupak-2007» и др.)

Fig. 1. Dynamics (a) and growth prospects (b) of plastics and biopolymers (based on the presentation of M. Yu. Pletnev at the International Summit «Modern Packaging: Analytics, Innovations, Creative», at the International Exhibition «Rosupak-2007», et al.)

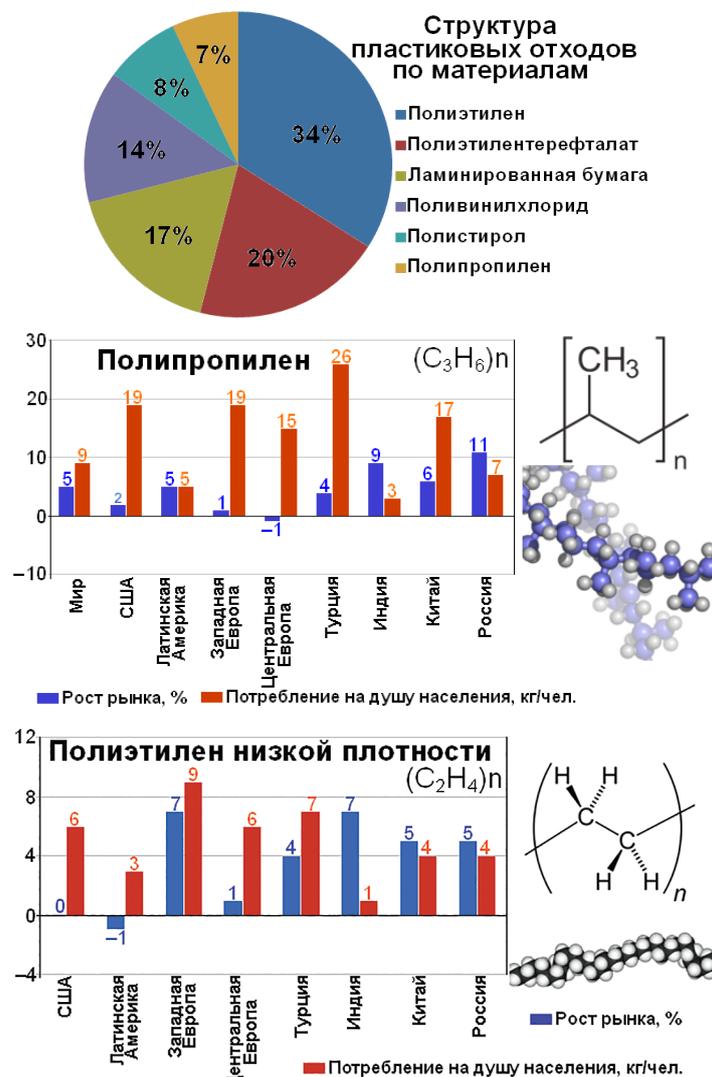


Рис. 2. Рынок полиолефинов

Fig. 2. Polyolefin market

Сырьем для получения биополимеров могут быть картофель, свекла, тапиока, зерновые и бобовые культуры, целлюлоза (древесина, хлопчатник, лигнин) и др. Значительное место в производстве упаковочных материалов отводится биоразлагаемому компоненту – крахмалу [5]. Он хорошо разлагается под действием воды и микроорганизмов, не загрязняя при этом почвы. Для разрушения этого материала были предложены эффективные микроорганизмы – биодеструкторы. На мировом рынке упаковки группы биоразлагаемых пластиков на основе природных полимеров представлены материалами Novon™, Bioras™, Bioceta™, Bioflex™ (табл. 3).

Основные преимущества производства и использования биоразлагаемых полимеров:

- возможность изготовления (как и обычных полимеров) на стандартном оборудовании;
- низкий барьер пропускания кислорода, водяного пара (оптимально для использования в области пищевой упаковки);
- стойкость к разложению в условиях использования;
- ускоренная и полная разлагаемость при специально созданных или естественных условиях;
- независимость от нефтехимического сырья.

Однако при производстве и потреблении биоразлагаемых материалов возникают некоторые проблемы:

- высокая стоимость (пока в среднем 2–5 евро за 1 кг). Но следует учесть, что экономическая стоимость, помимо цены продукта, содержит также и затраты на утилизацию и использование. Важно также отметить, что высокая цена материала – явление временное, пока производство биополимеров не стало

массовым и процесс их выпуска до конца не отлажен. Со временем стоимость биопластиков снизится, и они станут доступными для широкого ряда предприятий;

- ограниченные возможности для крупнотоннажного производства;
- трудность регулирования скорости распада на свалках под воздействием факторов окружающей среды;
- технологические трудности производства и др.

Поэтому создание и применение быстроразлагаемых материалов имеет ограниченное применение.

Оксибиоразлагаемые ПМ. В настоящее время в разных странах появились фирмы, предлагающие биodeградируемые гранулированные добавки (суперконцентраты) для серийных ПМ типа ПЭ, ПП, ПС и др. (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика основных биоразлагаемых полимерных материалов, области их применения и изготовители

Table 2

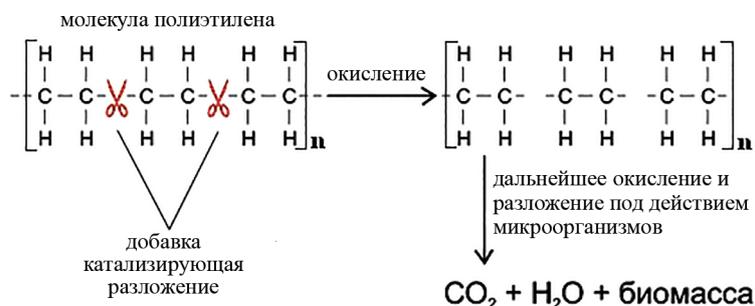
Characteristics of the main biodegradable polymeric materials, their applications and manufacturers

Материалы	Характеристика	Возможное применение	Изготовитель
1	2	3	4
ПМ на основе крахмала (ПМК)	По механическим свойствам приближаются к обычным полимерам (например, полипропилен (ПП)), устойчивы к воздействию жиров и алкоголя. Значительное различие в свойствах зависит от соотношения амилопектина и амилозы, а также других добавок. Подвержены компостированию	Упаковка продуктов питания и средств личной гигиены, хозяйственные пленки, изделия медицинского и спортивного назначения	Novamont, Biotec, Rodenburg Biopol, Vegeplas, Folag, Suedstarke
ПМ на основе целлюлозы (ПМЦ)	Обладают достаточно высокой механической прочностью, под воздействием кислот легко гидролизуются. Разновидности: ацетилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза, целлулоид и т. д.	Изделия повседневного применения, строительного и спортивного назначения, игрушки	Mazzucchelli, Rademate, Eastman Chem, Acetati
Полимолочная кислота, полилактид (PLA)	Свойства зависят от стереохимического состава и могут приближаться к свойствам полипропилена (ПП), полистирола (ПС), поливинилхлорида (ПВХ)	Упаковка (в том числе хозяйственного и строительного назначения), биокomпозиты	Nature Works, Neste Corp, Mitsui, Toyota

1	2	3	4
Поликапролактан, поликапроамид, капрон (PCL)	Высокая механическая прочность и хорошие барьерные свойства (по отношению к воде и жирам), низкая температура плавления (50 °С). Может подвергаться компостированию или рециклингу	Упаковка, волокна для геотекстиля	Solvay, Union Garbide, Novamont, Petroplast
	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---N---}(\text{CH}_2)_5\text{---C---} \\ \\ \text{O} \end{array} \right)_n \quad (\text{C}_6\text{H}_{11}\text{ON})_n$		
Полигидроксиалканоаты (PHA)	Физико-химические свойства зависят от состава – более 100 различных мономеров могут применяться для достижения требуемых свойств. Наличие свойств, характерных как для термопластов, так и для эластомеров. Высокие барьерные свойства. Подвергаются компостированию	Упаковка продуктов питания и средств личной гигиены, биокompозиты, пеноматериалы	Metabolix, P&G, Biomer, Monsanto
Алифатическо-ароматический сополиэфир (AAC)	Сочетает свойства биоразлагаемости алифатических частей с высокими механическими свойствами ароматических частей	Геотекстиль: упаковка, ламинаты, материал для хранения продукции в сельском хозяйстве и строительстве	Du. Pont, Eastmann Comp., BASF
Модифицированный полиэтилентерефталат (mPET)	Высокая механическая прочность и хорошие барьерные свойства (по отношению к воде и жирам). Может подвергаться компостированию и рециклингу	Упаковка (в том числе термоформованная и вспененная), продукция сельскохозяйственного назначения	Du. Pont Bayer

Известны биоразрушающиеся добавки на основе модифицированного крахмала, молочной кислоты, целлюлозы и хитозана. Среди них выделяются оксибиоразлагающие добавки производства ЕС, США, Канады, Великобритании, Норвегии, представляющие собой соединения, содержащие ионы металлов в форме карбоксилатов, которые действуют в полимерах как ускорители фото- и термического окисления. Отличаются от биоразлагающих добавок более высокой эффективностью при низких концентрациях (1–3 %), а также способностью разлагаться как под действием УФ-света, так и микроорганизмов (табл. 3).

Механизм биоразложения в присутствии оксибиоразлагающей добавки отражен в табл. 4. Находящиеся в добавке соли переходных металлов (кобальта, железа, марганца, меди, цинка, церия, никеля) создают свободные радикалы, которые, в свою очередь, ведут к появлению гидро- и пероксидов в форме альдегидов, кетонов, эфиров, спиртов и карбоновых кислот. Именно эти продукты подвергаются биоразложению. Многочисленные бактериальные клетки и грибковые споры колонизируются на участках разлома и по всей толщине пленки. В процессе биоразложения ПМ можно выделить три стадии:



1-я – ПМ подвергается воздействию УФ-излучения, высоких температур или через определенный промежуток времени начинаются окислительные процессы;

2-я – ПМ теряет физические свойства, становится ломким и уменьшается в размерах;

3-я – ПМ продолжает разрушаться на молекулярном уровне, становясь источником пищи для поверхностных микроорганизмов, что приводит к уменьшению его массы, «растворению» в почве и в итоге разложению на углекислый газ и воду.

Таблица 3

Характеристика биоразлагаемых пластиков на основе природных полимеров

Table 3

Characteristics of biodegradable plastics based on natural polymers

Торговая марка	Фирма-изготовитель (страна)	Состав	Общая характеристика свойств и область применения
1	2	3	4
Novon™	Warner-Lambert Co (США)	На основе крахмала, пластифицированного водой; часто содержит модифицированные производные полисахаридов	По механическим свойствам занимает промежуточное положение между ПС и ПЭ. Плотность – 1,45 г/см ³ ; температура размягчения – 60 °С. Перерабатывается в изделия экструзией с раздувом, литьем под давлением, штамповкой и поливом. Полностью биodeградирует в присутствии влаги как по аэробному, так и анаэробному механизмам. Ассортимент выпускаемой продукции – одноразовая посуда, коробки для яиц, косметические принадлежности, оберточные пленки для текстильных изделий и одежды, фармацевтические капсулы, подгузники для детей, гигиенические тампоны и др., а также амортизирующий материал в виде вспененных частиц размером 3–10 см для упаковки хрупких изделий
Биорас™	Biologische Verpackungssysteme (Германия)	На основе пластифицированного – промышленного крахмала (87–94 %)	Формуется при температуре 180 °С. Применяется для упаковки хлебобулочных изделий, выпечки, круп, яиц, сухих продовольственных продуктов
Bioceta™	Tubize Plastics (Франция)	На основе ацетата целлюлозы с пластификаторами и др. добавками	Плотность – 1,27 г/см ³ ; твердость по Роквеллу – 66; твердость по Шору – 30; индекс расплава – 4–12 г/10 мин; теплостойкость под нагрузкой 0,45 МПа – 70 °С; теплостойкость под нагрузкой 1,82 МПа – 55 °С; предел прочности при растяжении – 40 МПа; удлинение при разрыве – 17–20 %; модуль упругости при растяжении – 1400 МПа; предел прочности при изгибе – 40 МПа; модуль упругости при изгибе – 1000 МПа; ударная вязкость на образцах с надрезом – 10 кДж/м. Разлагается на 50 % в течение 6–12 мес. В виде пленки применяется для упаковки батареек к бытовым электроприборам, радиоприемникам и фонарям
Bioflex™	Biotec GmbH (Германия)	На основе крахмала и пластификаторов (спиртов, сахара, жиров, воска, алифатических полиэфиров)	Пленочный материал, разлагающийся в компосте при температуре 30°С за 56 дней с образованием продуктов, благоприятных для роста растений

Подвергшиеся окислительной деструкции ПМ представляют собой молекулы с уменьшенной молекулярной массой и гидрофильными поверхностями. Так, уменьшение молекулярной массы полиолефина от 300 тыс. до 40 тыс. вместе с проникновением кислорода, который содержит функциональные группы (радикалы), ведет к биоразложению.

Как полагают специалисты Международных организаций, интенсивное развитие индустрии оксибиоразлагаемых ПМ может решить доступными методами проблему избавления окружающей среды от полимерного мусора (особенно в виде отходов продукции одноразового использования), распространенных в настоящее время ПМ [14].

Характеристика оксибиоразлагающихся добавок

Table 4

Characteristics of oxibiodegradable additives

Торговое название	Компания изготовитель	Характеристика
PDQ-H	Willow Ridge Plastics Inc.	Добавка, принцип действия которой основан на уменьшении молекулярной массы основного полимера (для улучшения биологического разложения) под действием УФ-излучения и окислительных сред. Разлагается УФ-излучением и микроорганизмами
ECM	ECM BioFilms, Inc.	Добавка разлагается микроорганизмами
Bio-Batch	Bio-Tec Environmental	Добавка разлагается микроорганизмами
TDPA	Environmental Products Inc. (EPI)	Изготавливается по индивидуальным заказам. Помимо полностью биоразлагающих добавок компания поставляет и экологические полимерные пленки
Renatura	Nor-X Industrie AS	Содержит уникальный ингредиент на основе железа (собственная разработка компании) и используется в основном для биоразложения полиолефинов
Reverte	Wells Plastics Ltd.	Добавки и маточные смеси, содержащие продеграданты из ионов металла для придания основному полимеру фото- и терморазлагаемости. Содержит также уникальный усилитель биоразложения второго этапа, на котором используется модификатор скорости реакции для управления иницированием и сроками оксибиоразложения
D2w	Symphony Environmental Ltd.	Продеградантные добавки на основе маточного ПЭ, ПП или ПС. Компания поставляет также полностью разлагаемые ПМ
P-Life	P-Life Japan Inc.	Смесь катализаторов на основе жирных кислот специальной рецептуры компании. Содержание в основном полимере (ПЭ или ПП): 0,3–1 %. Возможно смешивание с гранулами ПМ непосредственно на этапе переработки. Имеет регистрацию FDA и соответствует предъявляемым требованиям

Основные преимущества ПМ с оксибиоразлагаемыми добавками:

- дешевле полностью биоразлагаемых ПМ;
- возможность регулирования скорости разложения;
- влагостойкость, прочность;
- подходят для пищевых продуктов;
- возможно нанесения печатных знаков (букв, цифр) и т. д.

Биоразлагаемые ПМ в Беларуси. В Республике Беларусь опытно-экспериментальные разработки биоразлагаемых упаковок до сих пор в промышленном масштабе не реализовывались. Биодegradуемые пластмассы представлены на нашем рынке в основном экологически безопасными пленками Esolean, которые на данный момент широко применяются для упаковки масло-молочных продуктов. Рынок их постоянно увеличивается, поскольку для производителей пищевых продуктов выгодно использование биоразлагаемой упаковки. Ожидается, что тенденции роста объемов потребления в данном секторе сохранятся, а в случае принятия законов о вторичной переработке, биоразлагаемая упаковка может значительно потеснить традиционные синтетические материалы.

Технология производства материалов из биополимеров аналогична способам переработки обычных полимеров. Здесь также применяются методы экструзии, инъецирования, горячего формования, литья под давлением, выдувного формования, ламинирования и т. д. Конечный продукт может быть снабжен печатью или этикеткой. Решающим фактором для выбора материалов и процессов остается то, что способность биополимеров к разложению должна быть сохранена [15]. В настоящее время иностранное предприятие «Пластил» впервые в Беларуси начало производство биоупаковок, в состав которых входит оксибиоразлагаемая добавка, обеспечивающая 100 % разложение полиэтилена от 8 месяцев до 1,5 лет. Эта биодобавка нетоксична и безопасна для людей, животных и растений. Пакеты с биодобавкой прошли все необходимые исследования и испытания, в результате чего биоупаковки производства «Пластил»

зарегистрированы Министерством здравоохранения Республики Беларусь. Первые биоразлагаемые пакеты производства «Пластил» появились в розничной сети «Гиппо».

Кроме того, на данном предприятии производятся полиэтиленовые пакеты при помощи низкого и высокого давления, пакеты с застежкой, бумажные пакеты, мусорные пакеты, пакеты для шин, пакеты для медицинских отходов, фасовка для заморозки и т. д.

Новой экологической продукцией ИП «Пластил» является биоразлагаемые пакеты для мусора «Лесовичок» и биоразлагаемая скатерть (рис. 3).

Нами предложен инновационный способ изготовления биоразрушаемой пленки из полиэтилена, наполненного неорганической солью, содержащей биогенные элементы, выполненный экструзионным рукавным методом. Отличается от уже известных тем, что для раздува и охлаждения рукава используют газообразный поток с частицами вышеуказанной неорганической соли размером не более 40 мкм [15].

Применение биоразлагаемых ПМ. К числу основных областей применения биоразлагаемых пластмасс относится упаковка пищевых продуктов. Контейнеры, пленки и пеноматериалы, изготовленные из таких полимеров, используются для упаковки мяса, молочных продуктов, выпечки и др. Наиболее распространенное применение биоразлагаемых ПМ – одноразовые бутылки и стаканчики для напитков, тарелки, миски и поддоны. Рынком сбыта для таких материалов является производство мешков для сбора и компостирования пищевых отходов, а также пакетов для супермаркетов. Развивающимся направлением применения этих полимеров является рынок сельскохозяйственных пленок.



Рис. 3. Биоразлагаемые пакеты производства ИП «Пластил»

Fig. 3. Biodegradable packages manufactured by FE «Plastil»

Бумажный пакет – достойная альтернатива для тех, кто заботится об окружающей среде. Изготовленные из экологически чистого сырья, бумажные пакеты сочетают в себе практичность предмета быта и стильного аксессуара, на который может быть нанесен логотип заказчика.

Срок полного разложения бумажного пакета длится около года, в то время как полиэтиленовый пакет разлагается примерно в 100 раз дольше. Фирменная упаковка несет в себе корпоративный дух, миссию, стиль, образ, выражая отношение к своим клиентам, партнерам, сотрудникам. Бумажные крафт-пакеты стали уникальной находкой для сетей супермаркетов и фирменных магазинов, салонов цветов, одежды, предметов интерьера и антиквариата, винных и выставочных компаний, аптечных и ресторанных сетей. Столь широкий спектр применения продукции из крафт-бумаги объясняется оптимальным соотношением «спрос – цена – качество». Бумажный пакет – это выбор людей творческих, энергичных, идущих в ногу со временем. Нанесение логотипа на бумажный пакет делает его отличным рекламным носителем компании на таких мероприятиях, как выставки, промоакции, конференции.

Заключение

Биоразлагаемые полимеры широко применяются для упаковки пищевых продуктов, изготовления сельскохозяйственных пленок и т. д. Интенсификация исследований в области создания биоразлагаемых полимеров – актуальное и перспективное направление не только во всем мире, но и в Республике Беларусь. Оно обусловлено решением глобальной экологической проблемы, связанной с загрязнением окружающей среды отходами полимерных материалов.

Биоразлагаемые пластики на основе природных полимеров представлены материалами Novon™, Biорас™, Biосета™, Bioflex™. Насущной необходимостью является создание биоразлагаемых ПМ

с оксибиоразлагающими добавками. Главное достоинство производства и использования биоразлагаемых полимеров – это возможность обработки, как и обычных полимеров, на стандартном оборудовании; низкий барьер пропускания кислорода и водяного пара (оптимально для использования в области пищевой упаковки); стойкость к разложению при применении; быстрое и полное разложение при специально созданных или естественных условиях; независимость от нефтехимического сырья.

Библиографические ссылки

1. Семчиков ЮД. *Высокомолекулярные соединения*. 2-е издание. Москва: Издательский центр «Академия»; 2005. 368 с.
2. Уайт ДжЛ, Чой ДД. *Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины* [перевод с английского]. Цобкалло ЕС, редактор. Санкт-Петербург: Профессия; 2006. 250 с.
3. Максанова ЛА. *Высокомолекулярные соединения и материалы на их основе, применяемые в пищевой промышленности*. Москва: КолосС; 2005. 213 с.
4. Барашков НН. *Полимерные композиты: получение, свойства, применение*. Москва: Наука; 1984. 128 с.
5. Суворова АИ. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала. *Успехи химии*. 2000; 69(5):498–503.
6. Буряк ВП. Биополимеры – настоящее и будущее. *Полимерные материалы*. 2005;79(12):22–27.
7. Фомин ВА. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы. *Пластические массы*. 2001;2:42–46.
8. Легонькова ОА. *Тысяча и один полимер от биостойких до биоразлагаемых*. Москва: РадиоСофт; 2004.
9. Легонькова ОА. *Биотехнология утилизации органических отходов путем создания гибридных композиций* [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 2009.
10. Смирнова ЕА. *Термодинамика совместимости компонентов и реологические свойства смесей синтетических полимеров с полисахаридами* [автореферат диссертации]. Екатеринбург: [б. н.]; 2006.
11. Крыжановский ВК, Бурлов ВВ, Паняматченко АД, Крыжановская ЮВ. *Технические свойства полимерных материалов: справочник*. 2-е издание. Санкт-Петербург: Профессия; 2005. 280 с.
12. Тюкова КС, Суворова АИ. Деструкция и стабилизация полимеров. *Тезисы докладов научно-практической конференции*. Москва; 2001. с. 204–205.
13. Biopolymers – alternatives to traditional packaging. *Journal of biodegradable renewable and sustainable packaging*. 2008; 2: 6–8.
14. Немного о бытовом мусоре. [Интернет]. [Прочитано 1 ноября 2018]. Доступно по: <http://ekois.net/d0-bd-d0-b5-d0-bc-d0-bd-d0-be-d0-b3-d0-be-d0-be-d0-b1-d1-8b-d1-82-d0-be-d0-b2-d0-be-d0-bc-d0-bc-d1-83-d1-81-d0-be-d1-80-d0-b5/>.
15. Пинчук ЛС (Беларусь), Лашкина ЕВ (Беларусь), Ермолович ОВ (Беларусь), Степаненко АБ (Беларусь), Литвяк ВВ (Беларусь), авторы; Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси», правообладатель. Способ изготовления биоразрушаемой пленки. Патент № 18675. BY, МПК⁷ В 29С 47/08, С 08J 5/18; заявка № а20120072; опубликовано 30.10.2014. *Афіцыйны бюлетэнь*. 2014; 5 с.

Referenes

1. Semchikov YuD. *Vysokomolekulyarnye sojedeniya* [High-molecular compounds]. 2nd edition. Moscow: Publishing Center «Academia»; 2005. 368 p. Russian.
2. White JL, Choi DD. Polyethylene, polypropylene and other polyolefins. Munich: Carl Hanser Verlag; 2004. 256 p. Russian edition: White JL, Choi DD. Polyethylene, polypropylene and other polyolefins. Tsobkallo ES, editor. Saint Petersburg: Profession; 2006. 256 p.
3. Maksanova LA. *Vysokomolekulyarnye soedinenja i materialy na ikh osnove, primenyaemye v pishhevoj promyshlennosti* [High-molecular compounds and materials based on them, used in the food industry]. Moscow: KolosS; 2005. 213 p. Russian.
4. Barashkov NN. *Polimernye kompozity: polychenie, svojstvo, primenenie* [Polymer composites: preparation, properties, application]. Moscow: Science; 1984. 128 p. Russian.
5. Suvorov AI, Tyukova IS, Trufanova EI. Starch-based biodegradable polymeric materials. *Uspekhi khimii*. 2000; 69(5):498–503. Russian.
6. Buriak VP. Biopolymers – present and future. *Polimernye materialy*. 2005; 79(12):22–27. Russian.
7. Fomin VA, Guzeev VV. Biodegradable polymers, state and prospects of use. *Plasticheskiye massy*. 2001;2:42–46. Russian.
8. Legonkova OA. *Tysyacha i odin polimer ot biostojkikh do biorazlagaemyx* [One thousand and one polymer from biostable to biodegradable]. Moscow: RadioSoft; 2004. Russian.
9. Legonkova OA. *Biotehnologiya utilizacii orhanicheskikh otkhodov putem sosdaniya gibridnykh kompozicij* [Biotechnology recycling of organic waste by creating hybrid compositions] [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown]; 2009. Russian.
10. Smirnova EA. *Termodinamika sovmestimosti komponentov i reologicheskie svojstva smesey sinteticheskikh polimerov s polisakharidami* [Thermodynamics of component compatibility and rheological properties of mixtures of synthetic polymers with polysaccharides] [PhD thesis]. Yekterinburg: [publisher unknown]; 2006. Russian.
11. Kryzhanovsky VK, Burlov VV, Panimatchenko AD, Kryzhanovskaya YuV. *Tekhnicheskie svojstva polimernyx materialov: spavochnik. 2-e izdanye* [Technical properties of polymeric materials: a reference: handbook]. 2th edition. Saint Petersburg: Profession; 2005. 280 p. Russian.
12. Tyukova KS, Suvorov AI. [Destruction and Stabilization of Polymers. Abstracts of the scientific-practical conference]. *Destrukciya i stabilizaciya polimerov. Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy konferencii*. Moscow: 2001; 204–205. Russian.
13. Biopolymers – alternatives to traditional packaging. *Journal of biodegradable renewable and sustainable packaging*. 2008;2: 6–8.
14. A little about household garbage [Internet]. [Cited 2018 November 1]. Available from: <http://ekois.net/d0-bd-d0-b5-d0-bc-d0-bd-d0-be-d0-b3-d0-be-d0-be-d0-b1-d1-8b-d1-82-d0-be-d0-b2-d0-be-d0-bc-d0-bc-d1-83-d1-81-d0-be-d1-80-d0-b5/>.
15. Pinchuk LS (Belarus), Lashkina EV (Belarus), Ermolovich OV (Belarus), Stepanenko AB (Belarus), Litvyak V.V (Belarus), authors; Institute of Metal-Polymer Systems V. A. Belogo National Academy of Sciences of Belarus, assignee. A method manufacturing a biodegradable film. Patent № 18675. BY, МПК⁷ В 29С 47/08, С 08J 5/18; application № 20120072; 2014 Oktober 30. *Afisynty buleten*. 2014;5 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 23.04.2019.
Received by editorial board 23.04.2019.

УДК 620.9:631.4

ENERGETIC UTILIZATION OF BIOMASS FROM REWETTED PEATLANDS

M. BARZ^a, G. KABENGELE^a, A. BRANDT^a, W. WICHTMANN^b,
M. WENZEL^b, S. WICHMANN^b, C. OEHMKE^b, T. DAHMS^b, L. BORG^c

^aHochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) – University of Applied Sciences Berlin,
8 Treskowalle Street, Berlin 10318, Germany

^bMichael Succow Foundation for the Protection of Nature and Institute for sustainable development of landscapes of the earth (DUENE e.V.) – Greifswald University, 11 Domstraße Street, Greifswald 17489, Germany

^cAgrotherm GmbH, 70 Basedower Street, Malchin 17139, Germany

The global biomass demand for food and fodder as well as for energy production will continuously increase in the near future, leading to increasing pressure on land use. For example, agriculture and forestry on drained peatlands will substantially change the physical, biological and chemical soil properties and results in peat degradation, accompanied by huge emissions of greenhouse gases. Peatlands cover an estimated area of ca. 400 million ha, equivalent to 3 % of the Earth's land surface [23]. According FAO only 15 % percent of peatlands are drained and used for agriculture, grazing,

Образец цитирования:

Барц М, Кабенгеле Г, Брандт А, Вихтман В, Венцель М, Вихманн С, Омке К, Дамс Т, Борг Л. Энергетическое использование биомассы из заболоченных торфяников. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2:95–105. На англ.

For citation:

Barz M, Kabengele G, Brandt A, Wichtmann W, Wenzel M, Wichmann S, Oehmke C, Dahms T, Borg L. Energetic utilization of biomass from rewetted peatlands. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;2:95–105.

Авторы:

Мирко Барц – кандидат технических наук, профессор департамента возобновляемых источников энергии инженерного факультета.

Гайрод Кабенгеле – научный сотрудник департамента возобновляемых источников энергии инженерного факультета.

Александр Брандт – магистрант департамента возобновляемых источников энергии инженерного факультета.

Венделин Вихтман – кандидат сельскохозяйственных наук, научный координатор Фонда Михаэля Зуккова по защите природы и Института по устойчивому развитию ландшафта земли; координатор проекта BonaMoor.

Максимилиан Венцель – магистр наук (биоразнообразие и экология), научный сотрудник в Фонде Михаэля Зуккова по защите природы и Института по устойчивому развитию ландшафта земли.

Сабина Вихманн – научный сотрудник в Фонде Михаэля Зуккова по защите природы и Института по устойчивому развитию ландшафта земли.

Клаудия Омке – научный сотрудник в Фонде Михаэля Зуккова по защите природы и Института по устойчивому развитию ландшафта земли.

Тобиас Дамс – научный сотрудник в Фонде Михаэля Зуккова по защите природы и Института по устойчивому развитию ландшафта земли.

Людвиг Борг – генеральный директор Агротерм Гамбург Малчин.

Authors:

Mirko Barz, PhD (engineering), professor at the department renewable energy, faculty of engineering.

mirko.barz@htw-berlin.de

Guyrod Kabengele, researcher at the department renewable energy, faculty of engineering.

kabenge@HTW-Berlin.de

Alexander Brandt, master student at the department renewable energy, faculty of engineering.

Alexander.Brandt@Student.HTW-Berlin.de

Wendelin Wichtmann, PhD (agriculture), research coordinator at Michael Succow Foundation for the Protection of Nature and Institute for sustainable development of landscapes of the earth; coordinator of BonaMoor project.

wendelin.wichtmann@uni-greifswald.de

Maximilian Wenzel, master of sciences biodiversity an ecology; researcher at Michael Succow Foundation for the Protection of Nature and Institute for sustainable development of landscapes of the earth.

max.wenzel@duene-greifswald.de

Sabine Wichmann, research associate at Michael Succow Foundation for the Protection of Nature and Institute for sustainable development of landscapes of the earth.

wichmann.sabine@gmx.de

Claudia Oehmke, researcher at Michael Succow Foundation for the Protection of Nature and Institute for sustainable development of landscapes of the earth.

oehmke@paludikultur.de

Tobias Dahms, research assistant at Michael Succow Foundation for the Protection of Nature and Institute for sustainable development of landscapes of the earth.

dahms@paludiculture.com

Ludwig Borg, central executive officer (CEO), Agrotherm GmbH Malchin.

ludwig.bork@web.de

peat mining and forestry, especially for bioenergy plantations, but causing almost 6 percent of total anthropogenic CO₂ emissions and almost 25 percent of the GHG emissions from the entire land use [10]. Since November 2018, HTW in collaboration with Greifswald University started a new and innovative research project, studying the production of biomass on wet peatland sites and the optimization of the thermal utilization of such biomass sources in small and medium scale applications, e.g. household systems and centralized heating plants for communities. The project is therefore focused on an alternative opportunity of using peatlands for bioenergy production, avoiding soil degradation and reducing fossil fuel based GHG emissions by replacing such fuels. Several peat forming plant species such as Common Reed, Reed Canary Grass Sedge species can be produced on rewetted peatlands. Common Reed (*Phragmites australis*) e.g. grows rapidly and the annual yields will reach under Central European conditions between 3.6 up to 43 t dry matter per ha and year (depending on water level, nutrient availability and pH values) [31]. The heating value of reed (17.7 MJ/kg) e.g. is remarkable and comparable with *Miscanthus*. Modified conventional agricultural technologies are suitable to harvest, compact, transport and store the reed and well established conversion technologies as e. g. boiler technologies for straw can be used for the utilization of the reed biomass. The presentation and the respective publication of the related paper will introduce the first results of this research project, including the results of measuring campaigns, carried out at a 800 kW heating plant for community heating in Malchin (Mecklenburg Western Pomerania) during February/March 2019.

Key words: bioenergy; common reed; reed canary grass, sedges; combustion; bioenergy; peatlands; climate change mitigation.

Acknowledgments. The presented study is part of a cooperative research project between Greifswald University, HTW Berlin and the operator of the heating plant Agrotherm GmbH Malchin, funded by the German Federal Ministry of Food and Agriculture – BMEL (FNR Project, FKZ 22404418).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ ИЗ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ

М. БАРИЦ¹⁾, Г. КАБЕНГЕЛЕ¹⁾, А. БРАНДТ¹⁾, В. ВИХТМАН²⁾, М. ВЕНЦЕЛЬ²⁾,
С. ВИХМАНН²⁾, К. ОМКЕ²⁾, Т. ДАМС²⁾, Л. БОРГ³⁾

¹⁾Институт техники и экономики, Университет прикладных наук Берлина,
ул. Тресковалле, 8, 10318, Берлин, Германия

²⁾Фонд Михаэля Зуккова по охране природы и Институт устойчивого развития ландшафтов Земли,
Университет Грайфсвальда, ул. Домитрассе, 11, 17489, Грайфсвальд, Германия

³⁾Агоротерм Гамбург, ул. Базедовер, 70, 17139, Мальхин, Германия

В ближайшем будущем мировой спрос на биомассу для производства продуктов питания и корма, а также энергии будет непрерывно расти, что приведет к увеличению нагрузки на землепользование. Например, сельское и лесное хозяйство на осушенных торфяниках существенно изменит физические, биологические и химические свойства почвы и приведет к деградации торфа, сопровождаемой огромными выбросами парниковых газов. Торфяные угодья занимают около 400 млн га, что эквивалентно 3 % поверхности Земли [23]. По данным ФАО, только 15 % торфяников осушаются и используются для сельского и лесного хозяйства, выпаса скота, добычи торфа и особенно в качестве биоэнергетических плантаций. В результате этой деятельности количество выбросов составляет 6 % от общих антропогенных (CO₂) и почти 25 % выбросов ПГ от землепользования [10]. С ноября 2018 г. HTW в сотрудничестве с Университетом Грайфсвальда начал новый инновационный исследовательский проект, посвященный изучению производства биомассы на заболоченных торфяниках и оптимизации термического использования источников биомассы в малых и средних проектах: бытовых системах и централизованных отопительных установках. Проект сфокусирован на альтернативной возможности использования торфяников для производства биоэнергии, предотвращения деградации почвы и сокращения выбросов парниковых газов на основе замены ископаемого топлива. На повторно заболоченных торфяниках можно выращивать несколько видов таких торфообразующих растений, как обыкновенный тростник, канареечник тростниковидный или осока. Тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) быстро растет, а ежегодный урожай в среднеевропейских условиях может достигать от 3,6 до 43 т сухого вещества на гектар в год (в зависимости от уровня воды, наличия питательных веществ и значений pH) [31]. Теплотворная способность тростника (17,7 МДж/кг), например, сопоставима с мискантусом. Модифицированные традиционные сельскохозяйственные технологии подходят для сбора, уплотнения, транспортировки и хранения тростника. Хорошо зарекомендовавших себя технологии переработки, например, теплотехнику для соломы можно использовать для утилизации тростниковой биомассы. В отчете и соответствующих актах представлены итоги исследовательского проекта, включая результаты замеров, проведенных на теплотрассе мощностью 800 кВт коммунального отопления в Мальхин (Мекленбург, Западная Померания), в феврале и марте 2019 г.

Ключевые слова: биоэнергетика; тростник обыкновенный; канареечник тростниковидный; осоки; горение; биоэнергия; торфяники; смягчения влияния изменения климата.

Благодарность. Представленное исследование является частью совместного исследовательского проекта Университета Грайфсвальда (HTW Берлин) и оператора тепловой станции Агоротерм Гамбург Мальхин, финансируемого Федеральным Министерством продовольствия и сельского хозяйства и защиты потребителей Германии – BMEL (проект Агентства по возобновляемым ресурсам (FNR), FKZ 22404418).

General background Information

The global estimated peatland area covers approximately 4 Mio km² and it is estimated that approx. 550 Gt carbon, representing 30 % of the total carbon in soils is stored globally in peat soils [17; 31]. Northern Europe, especially the regions around the Baltic Sea, such as e.g. Finland, Sweden, Russia, Estonia, Latvia, Lithuania, Poland and Germany originally enclose large natural wetland areas [16] but huge shares (almost 45 %) of the peatland area in the Nordic region have been drained and emit almost 80 Mt of CO₂ annually, i. e. 25 % of the total CO₂ emissions of these countries [11]. Rewetting of such areas and the production of energy biomass from peat forming plant species on the rewetted areas can result in a substantial reduction of the CO₂ emissions and contribute to climate protection [3]. After rewetting, an increase of CH₄ emissions may occur effecting the reduction of GHG emissions because CH₄ has a 23 times stronger climate effect compared to CO₂, but the overall result of rewetting is likely to be a reduction in global warming potential [5]. According [11] the net greenhouse gas emissions from rewetted peatlands are significantly lower compared to the previous drained situation (table 1) resulting in the climate benefits from rewetting peatlands in terms of potential for GHG emissions reduction and in the return of the carbon sequestration function of natural peatlands [19; 32]. Additional benefits are water and nutrient retention as well as local climate cooling and habitat provision for rare species [31].

Table 1

Emission reduction after rewetting of former drained peatlands [11]

Initial land use of drained peatlands	Emission reduction after rewetting in t CO ₂ _{equiv} /(ha *year)	
	Temperate zone	Boreal zone
Forest land	6	2
Cropland	28	34
Grassland	20	25
Peat extraction	9	11

An additional benefit arises when biomass is produced on these areas and their energetic use replaces fossil fuels. A typical yield of wetland biomass of 12.5 t dry matter per ha and year (average common reed yield measured in field tests in Northern Germany [28]) can replace 7,5 tons of coal equivalent (1 TCE = 8.142 MWh) and thus reduce fossil fuel based GHG emissions.

Biomass utilization pathways and productivity of rewetted peatlands

During recent years the combination of rewetting of former drained peatlands and the production of biomass (paludiculture) has gained interest as a possible land use option for obtaining benefits in terms of climate protection without losing agricultural land and producing valuable biomass sources for different utilization pathways (table 2).

Table 2

Utilization pathways for biomass from wet peatlands

	Utilization pathway	Harvesting period
Animal husbandry	Fodder (Hey, Silage)	Early summer
	Animal bedding	Summer, Autumn
Industrial Material	Paper & pulp industry	Winter
	Thatching	Winter
	Walls, panels, mats, insulation materials	Winter
Energy	Combustion, Gasification	Autumn, Winter
	Biogas	Summer

The productivity of rewetted peatlands varies depending on the plant species dominating the vegetation (Reed, Reed Canary Grass or Sedges), climate conditions of the respective site, weather conditions during the

year of sampling, harvesting time and other specific site conditions such as medium water levels and nutrient conditions [30]. Depending on water regime, trophy level, seed potential and other factors, the development of the vegetation first leads to reed beds of Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea*), Sweet Reedgrass (*Glyceria maxima*), Common Reed (*Phragmites australis*), or Cattail (*Thypha spec.*), more rarely to sedge (*Carex spec.*) reed-beds, but also to Grey Willow (*Salix cinerea*). After rewetting the plant communities develop spontaneously, and the biomass can be harvested according to the intended use (table 2). Because of the productivity of such a site and the possible yield of biomass (table 3), the site adapted and sustainable use of rewetted peatlands for the production of biomass is an innovative and cost effective chance for agriculture. It's assumed that high productivity yields of about 10–15 t dry biomass per hectare and year are possible and 2 Million t dry biomass for the Energy production could be harvested from this peatlands e. g. in Northern Germany [1].

Table 3

Productivity of selected wetland biomass sources [3; 6]

Dominant species	Productivity in $t_{DM}/(ha*year)$	Average yield in $t_{DM}/(ha*year)$	Energy yield ^{*1} in MWh/ha*a	Cal. equivalent ^{*2} in toe
Common Reed	3.6–43.5	12.5	53	4.55
Cattail	4.8–22.1	14	66.1	5.68
Reed Canary Grass	3.5–22.5	10	43.9	3.77
Sedge	3.3–12,0	6,5	27.7	2.38

^{*1} Energy yield calculated for 15 % water content, ^{*2} 1 toe = 11.63 MWh

As shown in table 3 especially Common Reed, Cattail and Reed Canary Grass show a high potential for biomass production. Average yields of about 12.5 t of dry Reed biomass per hectare and year were found for sites surveyed in eastern Germany during the research project ENIM [28]. For Cattail average yields of about 15 $t_{DM}/(ha*year)$ are reported in pilot trials in Donaumoos (Germany) [12] and similar results with average yields of 13 $t_{DM}/(ha*year)$ are reported for other sites e.g. in Canada [8]. Yields can rise up to 30 $t_{DM}/(ha*year)$ as reported e. g. from studies in the US [20]. Reed Canary Grass (RCG) and a wide variety of Sedges species are further possible biomass sources growing on wetlands. Reported RCG yields for northern Germany range between 3.5–22.5 $t_{DM}/(ha*year)$ [24] and 3.9–9.6 $t_{DM}/(ha*year)$ for sites studied in Belarus [30]. Yields for Sedges are reported for selected sites in Belarus in the range between 7.0–31.1 $t_{DM}/(ha*year)$ [30] and 7.9–22.3 $t_{DM}/(ha*year)$ for North- and Central US [20]. It can be summarized that typical yields for all above mentioned perennial peat forming biomass sources in natural stands the productivity will range between 3.5–22.5 $t_{DM}/(ha*year)$. Some sites show even higher productivities, as mentioned before caused by factors such water levels and nutrient conditions. According Kask et al. the productivity can be substantially increased by adding nutrients and yields between 40–50 $t_{DM}/(ha*year)$ might be possible [14].

Main fuel properties

The combustion process of solid biomass fuels is significantly affected by the chemical and the physical-mechanical properties of the feedstocks. Biomass feedstocks distinguish between each other in a wide range and show significant differences towards solid fossil fuels. The essential difference is expressed by the caloric value and the elementary compositions of the fuels. The elementary (chemical) composition is divided into the

- main elements: carbon (C), hydrogen (H) and oxygen (O);
- secondary elements: nitrogen (N), potassium (K), magnesium (Mg), calcium (Ca), sulfur (S), silicon (Si), sodium (Na), phosphorus (P), chlorine (Cl) and
- trace elements.

The main elements (carbon, oxygen, hydrogen) are essentially responsible for the energy content (calorific value), expressed by the exothermal reaction of the carbon and the hydrogen with oxygen. The secondary elements (nitrogen, potassium, magnesium, sodium, calcium, phosphorus, sulfur, silicon and chlorine) with the exception of silicon and sodium, are the main nutrients consumed during growing and accumulated in the plants [13]. Nitrogen, sulfur and chlorine are so called "critical" components since they are involved in pollutant formation and corrosion processes. High concentrations of nitrogen and sulfur lead to NO_x and SO_2 emissions which can be further transferred into acid components. High chlorine concentrations can cause corrosion damage to the combustion plants components or further react to harmful components such as dioxins and furans as well as HCl emissions [6].

Potassium, magnesium, sodium, calcium will have an effect on the ash melting behavior and can cause slag formation problems in combustion chambers. Trace elements, which are mostly heavy metals (iron,

manganese, zinc, copper, molybdenum, cobalt, lead, aluminum, chromium, cadmium, nickel, mercury, arsenic) are considered partly as essential micronutrients for plant growth, but in some cases high concentrations of trace elements can have a plant-damaging or contaminating effect. Further important properties are the content of water, ash, volatile components, fixed carbon and the caloric value of the biomass fuels. An overview of the effects of fuel properties on combustion behavior is shown in table 4.

Table 4

Impact of fuel characteristics on the combustion process

	Impact on the combustion process
<i>Chemical composition</i>	
C, H, O	Caloric value, equivalent air ratio, energy output
S, N, Cl	Emission of pollutants, corrosion, material cost
Mg, K, Ca	Ash content, ash melting behavior, ash utilization opportunities
<i>Fuel quality parameters</i>	
Heating value	Energy content, fuel demand and design of the boiler
Water content	Energy content, combustion temperature, fuel storage risks
Volatile matter and fixed carbon content	Reaction rate, combustion temperature and combustion burnout times, design of the boiler
Ash content	PM emission, ash quantity and utilization opportunities
<i>Physical/mechanical properties</i>	
Particle size	Reaction rate, combustion temperature and combustion burnout times, design of the boiler
Bulk density	Fuel transportation and storage

Some selected results of the proximate- and ultimate-analysis of wetland biomasses from different regions are shown in table 5 and compared with other potential biomass fuels and coal as typical solid fossil fuels. As shown in the table, the caloric value of common reed and reed canary grass is significant lower than the heating value for fossil fuels and requires higher fuel inputs for the same energetic output (which is generally valid for all solid biomass fuels). However, compared to other biomass fuels the relative high value of 17.5–18.9 MJ/kg indicates that biomass produced on peatlands can be used as a promising energy source. The nitrogen content is low, so that no problems concerning nitrogen oxide emissions are expected (for biomass combustion processes only the formation of NO_x from fuel nitrogen is important, the formation of thermal NO occurs only at high temperatures to a great extent and plays a minor role during biomass combustion) [2]. Compared to pine wood (the traditional fuel in biomass heating and CHP plants in Germany) the higher contents of chloride, sulfur and ash might cause problems regarding emissions and process management if the reed is used in conventional combustion technologies. Sulfur and chlorine are air-polluting elements. During combustion these elements mainly convert to SO_x and HCl. Especially the chloride content could increase the risk of Cl-corrosion [26].

The values for ash content of the different reed samples vary in a wide range (e.g. for reed canary grass between 3 % in Belarus and 10 % in Northern Germany) which might be caused by different harvesting dates and methods. Samples in Germany were taken from reed bales, harvested and compacted by conventional agricultural machinery, whereas samples in Belarus were collected manually.

To provide a standardized fuel and to reduce storage and transport costs the fuels can be compressed into densified fuel products such as pellets or briquettes. Pellets, produced from common reed, reed canary grass and sedges were used for initial combustion experiments in a commercial biomass heating plants in Malchin, Northern Germany (fig. 1). These pellets have uniform size and shape (Ø 8 mm, L 10–20 mm) and are characterized by a low water content and a high energy density. However, the production of pellets is associated with high technical, energetic and economic costs.

Table 5

Comparison of fuel analysis for wetland biomass sources from different regions with other biomass samples and fossil fuels (*¹ from Barz et. al., (2007), *² Kask, et. al., (2007), *³ Wichtmann et al., (2011), *⁴ Komulainen, et al., (2008), *⁵ TLL (2009)

Fuel species	Cv (wf) [MJ/kg]	Volatile [%]	Ash [%]	Ultimate analysis (wf) in %					
				C	H	N	O	S	Cl

Solid fossil fuels									
hard coal	31.8	38.8	6.3	79.4	5.1	1.5	6.6	1.0	<0.2
brown coal	27.0	55.0	7.6	68.4	5.5	1.8	15.4	1.3	-
Reed samples from different regions									
Northern Germany ^{*1}	17.7	66.8	8.8	46.5	5.9	0.3	42.5	0.14	0.16
Estonia ^{*2}	17.76	n. a.	3.2	47.5	5.56	0.31	43.34	0.04	0.11
Belarus ^{*3}	n. a.	n. a.	5.7	45.52	n. a.	0.7	n. a.	0.11	0.05
Finland ^{*4}	18.92	81.8	2.1 – 4.4	47.5	5.6	0.3	43.3	0.04	0.11
Reed canary grass (RCG) samples from different regions									
Northern Germany ^{*5}	17.5	n. a.	10	43.29	5.79	1.17	38.17	0.19	1.39
Belarus ^{*3}	n. a.	n. a.	3.0 – 4.3	46.7	n. a.	0.75	n. a.	0.12	0.013
Finland ^{*4}	17.6	74.0	5.5	46.0	5.5	0.9	n. a.	0.1	0.09
Sedges									
Germany ^{*5}	17,45	n. a.	n. a.	47,6	5,95	1,81	38,07	0,24	0,4
Other Biomass Fuels									
Miscanthus	17.8	81.0	2.7	47.2	6.5	0.7	41.7	0.13	0.23
Pine wood	18.7	84.0	0.3	50.9	6.6	0.2	42.0	0.02	0.01
Wheat straw	17.1	79.6	5.3	46.7	6.3	0.4	41.2	0.1	0.4



Fig. 1. Sedge pellets used for combustion experiments in Malchin [6]

Table 6

Energy content and bulk density of different wetland biomass pellets used for combustion experiments in Malchin

Sample	Reed	RCG	Sedges	RCG + Reed
Caloric value (wf) in MJ/kg	18.65	18.5	18.19	17.83
Bulk density in kg/m ³	613	604	616	539
Energy density in MJ/m ³	11,432.5	11,174	11,205	9,610.4

Table 7

Composition of different wetland biomass pellets used for combustion experiments in Malchin (elementary composition obtained from Dahms, et al., 2017)

	TGA Analysis results in %				Elementary composition in %					
	Water	Volatiles	C fix	Ash	C	H	N	O	S	Cl
Sedges	6.92	76.76	9.37	6.97	47.8	5.8	1.0	37.7	0.2	0.5
RCG	6.07	78.42	10.36	5.51	46.7	6.0	0.9	40.2	0.2	0.8
Reed	5.16	82.41	7.88	4.54	47.2	5.8	0.7	41.6	0.1	0.04

Suitable conversion technologies

Different conversion pathways for wetland biomass can be considered regarding the harvesting time and the resulting biomass qualities. Winter harvest or late autumn harvest (table 2) will lead to lower water content (combined with higher heating values) because first frosts will dry the stand so that it can be harvested and directly stored and used for thermochemical conversion like conventional combustion [23]. Harvest during

the vegetation period (e. g. during flowering) will provide high yields too, but the water content (60–80 %) will lead to a significant reduction of the heating value and it must be dried on the fields before stored or used in a combustion plant. Especially since grass silages are increasingly being used in biogas plants, the use of early harvested wetland biomass for biogas plants is a more promising opportunity. In this case plants like reed canary grass or sedges can be harvested 2–3 times during the vegetation period for the generation of substrates for biogas plants and an additional late autumn or winter harvest can provide biomass for a combustion plant.

In recent years, many projects studied the opportunity to use wetland biomass sources such as common reed, reed canary grass, sedges and cattail for energy purposes. Anaerobic digestion to produce biogas from grasses is today an interesting opportunity to provide alternative substrates for many existing biogas plants. Technologies include so called dry fermentation processes and classical wet fermentation processes where grass is used as co-substrate together with animal manure to improve the stability of the biogas process. High biogas yields of e.g. up to 0.78 m³/kg dry matter are reported for dry fermentation experiments using silage from reed canary grass in Germany by Vogel et al. 2009. In general, the investigated biogas yields from different grass species using different harvest periods and methods varies in a very wide range (from 0.08 to 0.86 m³/kg dry matter) [18].

For combustion two main technologies, a) fixed bed combustion and b) fluidized bed combustion systems are suitable to use such biomass as fuel for heat or heat and power generation. Since fluidized bed systems are more complex and require higher investment costs, an economic operation of the plants is only possible at high capacities (above 10 MW for bubbling fluidized bed systems and above 50 MW for circulating fluidized bed systems). Such technologies are a promising opportunity to use wetland biomass sources e.g. through co-combustion with coal in conventional power plant applications. Since herbaceous biomass sources have (compared to woody biomass fuels) usually higher contents of ash, N, S, K, Cl, etc. (table 5), leading to higher emissions of NO_x, particulates, corrosion and deposits, co-combustion seems to be a good choice for the energetic utilization. Coal fired power plants are equipped with efficient flue gas cleaning and air pollution control systems ensuring an efficient and environmental sound combustion. Caused by the low density of the baled biomass long distance transportation is not suitable this option is only suitable if conventional coal fired power plants are located close to the production sites of the biomass sources. For this reason, fixed bed combustion systems are more favorable for decentralized (small scale) projects [12]. The two main types of fixed bed combustion systems are underfeed stokers and grate firing systems. Underfeed stokers are relatively cheap, but only suitable as small-scale systems. Fuel handling is very easy in such systems, but these technologies require a uniform fuel property in size, shape, moisture and energy content (pellets or small briquettes). They have the advantage of being easier to control than other technologies, since load changes can be achieved quickly and with relative simplicity due to the fuel feed method. Fuel is fed into the furnace from below by a screw conveyor and then forced upwards onto the grate where combustion process occurs. Disadvantage of the systems is that underfeed stokers are limited to low ash content fuels such as wood chips due to ash removal problems [12].

Grate firing systems, such as moving grate, traveling grate or vibrating grate boilers can accommodate fuels with high moisture and ash content [29]. They allow a continuous and automatic operation since the fuel is fed on one side of the grate, then disposed on the whole grate and burned completely when the grate has transported the fuel to the ash dumping site of the furnace. Such systems can be used in a wide capacity range, starting with only a few kW up to several MW as e. g. in the power plant sector. Within a research project financed by the German Federal Environmental Foundation (DBU), biomass from rewetted peatlands (especially common reed and reed canary grass) was used as fuel in an ORC (Organic Rankine Cycle) heat and power co-generation plant in Friedland (Germany). The used combustion system was a moving grate firing system with a maximum thermal capacity of 10 MW. Since the plant was usually designed to use wood chips as fuel an operation with 100 % of wetland biomass was not possible. During the project the boiler was fed with a mixture of wood chips and common reed and reed canary grass from the Peene valley peatlands. Since the combustion behavior and the particle size of wood chips is quite different from the reed and reed canary grass, a stable operation was only possible with a mixture of up to 1:5 (weight proportion RCG: wood). Higher portions of reed and/or reed canary grass led to problems in biomass supply of the plant because of volume differences when feeding the fuel into the boiler caused by the bulky structure of the fuel inducing blockages in the stoker. Not only differences in volume, but also in humidity led to difficulties in the burning process [28]. A possibility to solve the problems would be pelletizing or briquetting of the loose and gramineous biomass before feeding the boiler. Experiments to use pellets from reed and reed canary grass in small scale 50 kW fixed grate combustion system did not show any disadvantages compared to other biomass fuels such as wood chips normally used in the test facility. Because of the huge amount of fuel, necessary to operate the power plant in Friedland and the fact that pelletizing would increase the fuel prize significantly the effect of burning such pellets in the commercial scale experiments could not be studied during this project-but it can be assumed that pellets or briquettes produced from reed or reed canary grass could replace the wood chips by 100 % without major problems.

Experimental setup for the Combustion experiments using a 800 kW grate firing system

A promising utilization concept for the energetic utilization biomass from rewetted peatlands was realized in Malchin (north eastern part of Germany) 2014 by the company Agrotherm GmbH. A biomass boiler for straw and other gramineous fuels from the Danish technology provider “Linka” with 800 kW combustion capacity was installed and integrated into the existing district heating network of the city of Malchin. The boiler is equipped with a variable fuel feeding system (shredder for baled graminneous biomass and a feeding screw for the alternative use of wood chips and/or pellets). For the operation mode to use baled biomass the bales are automatically transported from the conveyor to the shredder, where the rotating shredder drums secure an efficient shredding, enabling an exact dosage. Since the feeding system is controlled by the boiler’s heat consumption an automatic operation of the system is possible. The biomass is fed to the inclined grate, consisting of fixed and movable grate bars. By alternating forward and backward movements of the movable grate bars the fuel is transported through the combustion chamber. Primary air is used for cooling the grate and secondary air is supplied to the combustion chamber above the grate to ensure the correct amount of air for the complete combustion of the fuel and the required turbulences in the secondary combustion zone. The ash auger is installed in the base of the boiler to transport the ash out to the ash container. To avoid air pollution through dust emissions a combination of a cyclon precleaner and a baghouse filter is installed in the flue gas system.

The biomass used for the heating plant is produced near the town on an area of about 400 ha of rewetted peatlands during short term dry phases, baled and stored to ensure a continuous operation of the plant during the heating season. Each year, around 800–1200 t of fuel are produced and used in this plant, supplying about 490 households and office buildings with heating energy and replacing 290,000 to 380,000 l heating oil [4].



Fig. 2. 800 kW biomass boiler in Malchin for combustion of biomass from rewetted peatlands (Source: Agrotherm GmbH)

During a first measuring campaign in February 2019 pelletized wetland biomass (Sedges, RCG and Reed, see table 6 and 7) was used to operate the boiler. The boiler was operated in the capacity range between 600–700 kW (controlled by the heat demand of the district heating system) with an equivalence air ratio $\lambda = 2$ (divided into 40 % primary air and 60 % secondary air). Caused by the limited available amount of the pellets a mixture of them was used to ensure a continuous supply over a measuring time of 3 hours.

Results of the measuring campaign

Table 8 shows the German emission limit values for the combustion of straw like biomass fuels defined in the first general administrative regulation to the Federal Immission Control Act, Technical Instructions on Air Quality Control (TA-Luft).

The results of the flue gas emissions measurements (evaluated according TA Luft with a reference oxygen content of 11 %) are shown in Figure 3. Fluctuations in emissions characterize the fuel delivery cycles which occur every 7 minutes (emission peaks of CO_2 and low emissions of NO_x during the fuel feeding periods).

Table 8

Emission limit values for the combustion of straw like biomass fuels according TA-Luft (reference oxygen content 11 %)

Flue gas component	Emission limit value
CO in g/m ³	0.25
NOx in g/m ³	0.5
TOC in mg/m ³	50
PM in mg/m ³	50

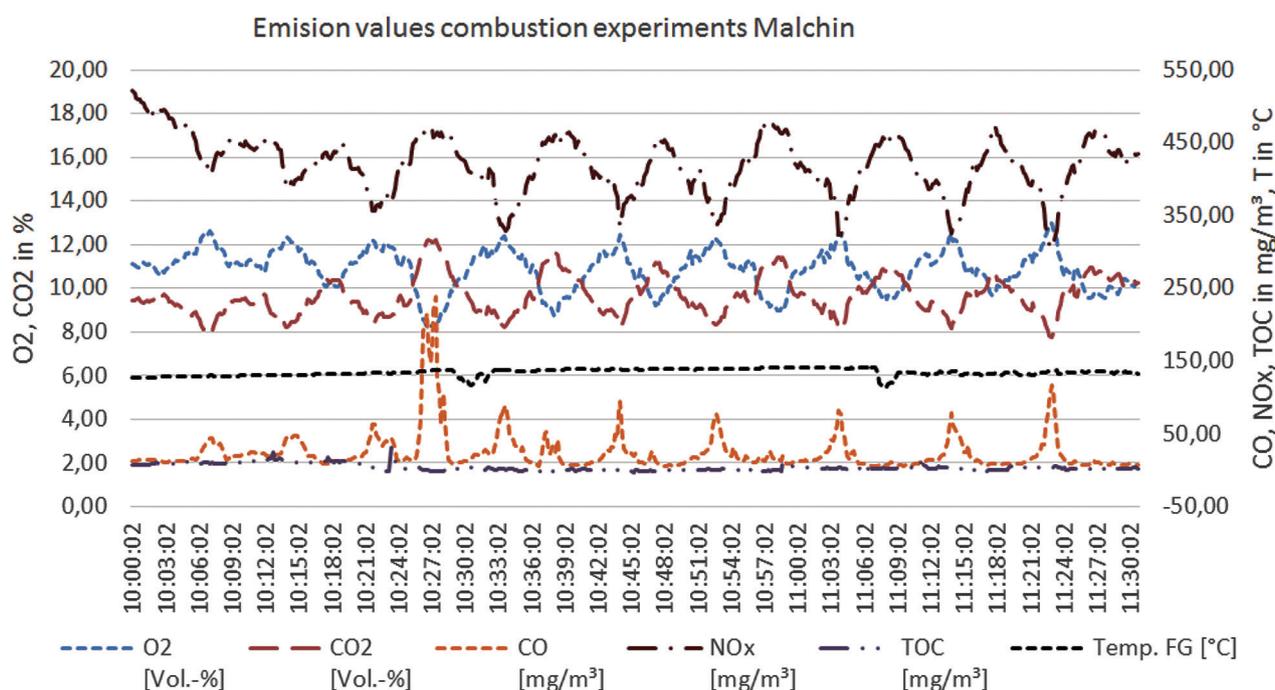


Fig. 3. Concentration of pollutant emissions during the combustion experiments

As shown in Figure 4–7 the concentration of the regulated air polluting components CO, TOC and PM (The measurement values were converted to the reference oxygen content of 11 %) were significant lower than the German emission limits, indicating a clean and stable combustion process.

The concentration of NO_x in the exhaust gas was relatively high, but still below the German emission limit. After approx. 3 hours of operation slag formation was detected on the grate and the measurement campaign was stopped to clean the grate and to avoid damage of the grate. Reason was the high temperature of the accumulated burning coke and a blockage of the cooling air supply through the dense coke bed.

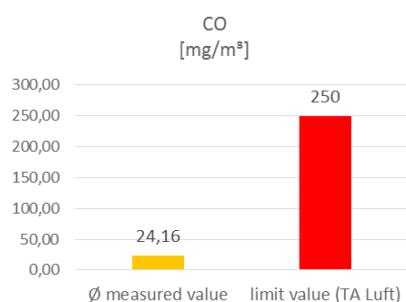


Fig. 4. CO values compared to TA Luft limit value

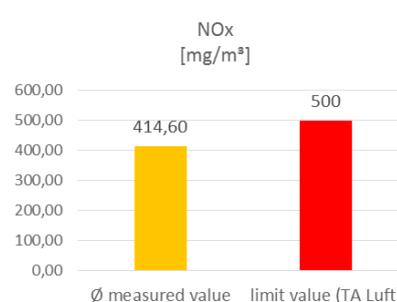


Fig. 5. NO_x value compared to TA Luft limit value

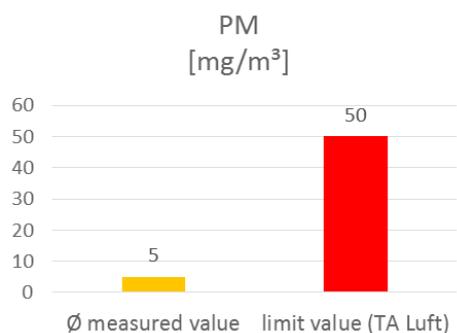


Fig. 6. PM value compared to TA Luft limit value

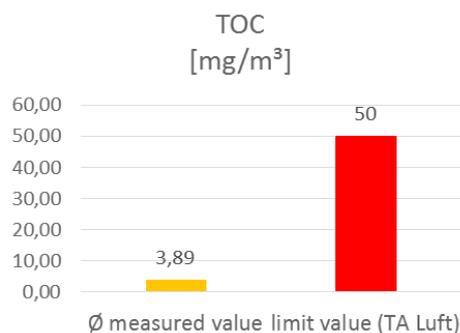


Fig. 7. TOC value compared to TA Luft limit value

Conclusion

Peatlands, drained and used for agriculture or forestry are significant sources of anthropogenic GHG emissions, caused by the release of stored carbon in form of CO₂ from peat decomposition. Peatland restoration (rewetting) can reduce this emission and the additional use of the above ground produced biomass as energy source can additionally reduce fossil fuel based GHG emissions by replacing such fuels. In general, many peat forming plant species, such as Common Reed or Sedge species are promising biofuels with yields (range between 3.5–22.5 t_{DM}/(ha*year) in natural stands) comparable to woody biomasses produced e.g. on short rotation plantations. Site productivities can reach even 40–50 t_{DM}/(ha*year) if nutrients are added to the sites. The produced biomass can be used in conventional thermochemical conversion technologies, such as conventional combustion systems or as substrates for biogas production.

Tested wetland biomass pellets made from Reed, RCG and Sedges have similar properties (caloric value, bulk and energy density and elementary composition) in comparison with standard wood pellets. Measurements in a 800 kW grate combustion boiler have indicated a clean and stable combustion process. The measured emissions of CO, NO_x, PM and TOC are below the emission limits defined in the German Federal Immission Control Act (TA Luft).

The most negative property of these pellets is the higher ash content and a low ash melting temperature, caused by a high potassium content of the fuel. This property was the reason for the premature termination of the measurement campaign. Further experiments are required to optimize the combustion process by varying parameters, such as temperatures and air supply to the different boiler zones. Reduced temperatures in the primary reaction zone (e. g. by lowering the primary air supply) of the boiler (grate area) will reduce ash slagging problems and lower the NO_x values in the exhaust gas. Furthermore, a comprehensive risk assessment and a Life Cycle Assessment (LCA) to assess site specific and general environmental and social factors of the project should be considered and will be carried out during the next project phase.

References

1. Barz M, Ahlhaus M, Wichtmann W, Timmermann T. Production and energetic utilization of biomass from rewetted peatlands. In: Power and Thermal Physics. *Scientific Proceedings of the Riga Technical University, Section Heat*. Riga: [publisher unknown]; 2007.
2. Barz M, Tanneberger F, Wichtmann W. Sustainable Production of Common Reed as an Energy Source from *Wet Peatlands*. In: *Sustainable Energy and Environment – A Paradigm Shift to Low Carbon Society. 4th International Conference 2012 February 27–29*. Bangkok, Thailand: [publisher unknown]; 2012.
3. Barz M, Wichtmann W. Rewetted Peatlands as Source for Bioenergy Production. Minsk; 2017. [Internet]. *Ekologicheskiy vestnik* [cited 2019 May 15]. Available from: URL: http://www.iseu.bs.u.by/wp-content/uploads/2017/05/EV_39.pdf.
4. Bork L. Brandenburgs Moore klimafreundlich bewirtschaften – Chancen für die Landwirtschaft! Potsdam; 2019. Germany.
5. Couwenberg J. Greenhouse gas emissions from managed peat soils: is the IPCC reporting guidance realistic? *Mires and Peat*. 2011;8.
6. Dahms T, Oehmke C, Kowatsch A, Abel S, Wichtmann S, Wichtmann W, et al. Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren. Greifswald: Druckhaus Panzig; 2017. p. 68. Germany.
7. EUBIONET. Biomass co-firing – an efficient way to reduce greenhouse gas emissions. *European Bioenergy Networks*. Finland: [publisher unknown]; 2003.
8. Grosshans RE, Grieger L. Cattail Biomass to Energy: Commercial-scale harvesting of cattail biomass for biocarbon and solid fuel. *IISD report*. 2013; March. 27 p.
9. Joosten H. European mires – a preliminary status report. *International Mire Conservation Group Members Newsl.* 1997;3:10–13.
10. Joosten H, Tapij-Bisrom M-L, Tol S. editors. Peatlands – guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. In: *Mitigation of Climate Change in Agriculture (MICCA) Programme*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2012.

11. Joosten H. Peatlands, climate change mitigation and biodiversity conservation. Copenhagen: Nordic Council of Ministers; 2015. 9 p.
12. Joosten H, Gaudig G, Tannebergen F, Wichmann S, Wichmann W. Paludiculture – sustainable use of wet and rewetted peatlands. In: Aletta, editor. *Peatland Restoration and Ecosystem Services*. Bonn: Cambridge University Press; 2016.
13. Kaltschmitt M, Hartmann H, Hofbauer H, editors. *Energie aus Biomasse: Grundlagen Techniken und Verfahren*. Berlin: Springer-Verlag; 2009. Germany.
14. Kask Ü, Paist A, Kask L. Reed as perspective natural energy crop. In: Lahtmetts R, editor. *Topikal Problems in the Field of Electrical and Power Engineering: Doctoral school of Energu and Geotechnology. 4th International Symposium, 2007 January 15–20, Kuressaare, Estonia*. Tallinn: Tallinn University of Technology; 2007. p. 248–253.
15. Komulainen M, Simi P, Hagelberg E, Ikonen I, Lyytinen S, Salmela P. Reed energy: Possibilities of using the Common Reed for energy generation in Southern Finland. *Reports from Turku University of Applied Sciences*. Turku: [publisher unknown]; 2008. Volume 67. p. 78.
16. Lundin LC, editor. *The Waterscape. Wetlands in the Baltic Sea region*. Uppsala, Sweden: A Baltic University Programme Publication; 2000. Book 1. Part 1; 4. p. 45–52.
17. Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. In: *Klimaschutz natürlich – Die Bedeutung von Mooren für Natur und Klima*. Berlin; 2012, Germany
18. Nekrošius A, Navickas K, Venslauskas K, Kadžiulienė Ž, Tilvikienė V. Assessment of energy biomass potential and greenhouse gas emissions from biogas production from perennial grasses. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2014; 101(3):271–278.
19. Nugent KA, Strachan IB, Strack M, Roulet NT, Rochefort L. Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to carbon sink. *Global Change Biology*. 2018;24(12):5751–5768.
20. Pratt DC, Dube DR, Garver EG, Linton PJ. Wetland Biomass Production: Emergent Aquatic Management Options and Evaluations: A Final Subcontract Report for U. S. Department of Energy: University of Minnesota, July 1984 [Internet]. [Cited 2019 May 15]. Available from: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/2383.pdf>.
21. Schröder C, Dahms T, Paulitz J, Wichmann W, Wichmann S. Towards large-scale paludiculture: addressing the challenges of biomass harvesting in wet and rewetted peatlands. *Mires and Peat*. 2015;16(13):1–18.
22. Strack M, editor. *Peatlands and climate change*. Jyväskylä: International Peat Society; 2008. 227 p.
23. Stražil Z. Evaluation of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) grown for energy use. 2012. *Research in Agricultural Engineering*. 2012;58(4):119–130.
24. Timmermann T. Nutzungsmöglichkeiten der Röhrichte und Riede nährstoffreicher Moore Mecklenburg-Vorpommerns. *Greifswalder Geographische Arbeiten 31*. Greifswald; 2003. Germany.
25. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. In: Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung (GNUT-Verbrennung). *Zwischenbericht zum Projekt, FKZ 2200-5808 (08NR058)*. 2009. Germany.
26. Vogel T, Ahlhaus M, Barz M. Optimization of Biogas Production from Grass by Dry-Wet Fermentation. In: *Engineering for Rural Development. Proceedings of the 8th International Scientific Conference, Jelgava, 2009 May 28–29 (Latvian Council of Science; Latvia University of Agriculture; Latvia Academy of Agricultural and Forestry Sciences)*. Jelgava; 2009.
27. Wichmann W, Joosten H. Paludiculture: peat formation and renewable resources from rewetted peatlands. *IMCG Newsletter*. 2007;3.
28. Wichmann W, Wichmann S. Energie biomasse aus Niedermooren (ENIM). In: *Bericht zum Forschungsprojekt, gefördert mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)*. Greifswald; 2009. Germany.
29. Wichmann W, Tanneberger F. Feasibility of the use of biomass from re-wetted peatlands for climate and biodiversity protection in Belarus. In: *Biomass feasibility study*. Greifswald: Michael Succow Stiftung; 2009. 113 p.
30. Wichmann W, Haberl A, Tanneberger F. Production of biomass in wet peatlands (paludiculture). In: *The EU-AID project «Wetland energy» in Belarus – solutions for the substitution of fossil fuels (peat briquettes) by biomass from wet peatlands. 6th Bioenergieforum*. Rostock; 2012 [Internet]. [Cited 2019 May 15]. Available from: http://www.succow-stiftung.de/tl_files/pdfs_downloads/Projektinfos/Wichtmann%20et%20al.%202012_Bioenergieforum_Rostock.pdf.
31. Wichmann W, Schröder C, Joosten H, editors. *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Stuttgart: Schweizerbart; 2016. 272 p. Germany.
32. Renou-Wilson F, Moser G, Fallon D, Farrell CA, Müller C, Wilson D. Rewetting degraded peatlands for climate and biodiversity benefits: Results from two raised bogs. *Ecological Engineering*. 2019;127:547–560.

Статья поступила в редколлегию 23.04.2019.
Received by editorial board 23.04.2019.

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Короткевич А. В., Лучина В. Н.</i> Универсальные компетенции для устойчивого развития: определение границ и понятий	4
<i>Толстая Е. В., Козелько Н. А.</i> Визуальная окружающая среда как важный экологический фактор	13

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Михеева Т. М., Ковалевская Р. З., Дубко Н. В., Верес Ю. К., Венчиков В. Я.</i> Определение компонентного остатка и качественных характеристик органического вещества по спектральным характеристикам воды на отрезке р. Свислочь в летний период	21
<i>Петров Д. Л.</i> Комплексная оценка вредоспособности и вредоносности тератформирующих глейдендробионтов в декоративных зеленых насаждениях Беларуси: текущая ситуация и ее изменение с 2007 г.	34
<i>Свиштун Е. К., Жилкевич А. В.</i> Эколого-фаунистическая характеристика орнитофауны рекреационных зон г. Минска	42

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Дворнік А. А., Дворнік А. М., Чэшык І. А., Гапоненка С. А., Сеглін В. Н.</i> Выкарыстанне ГІС-тэхналогій пры ацэнцы рызык лясных пажараў на тэрыторыі Гомельскай вобласці	51
--	----

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Бакунович А. В., Лобанок Л. М., Зинченко А. И., Буланова К. Я.</i> Влияние диаденозин тетрафосфата на функциональную активность тромбоцитов беременных с преэклампсией при окислительном стрессе	60
<i>Иконникова Н. В., Лобай М. В.</i> Биологические свойства и иммунотропные эффекты грибов рода <i>Cordyceps</i>	68
<i>Тарун Е. И., Данькова А. В., Пырко А. Н.</i> Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов	77

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Литвяк В. В.</i> Перспективы производства современных упаковочных материалов с применением биоразлагаемых полимерных композиций	84
<i>Барц М., Кабенгеле Г., Брандт А., Вихтман В., Венцель М., Вихманн С., Омке К., Дамс Т., Борг Л.</i> Энергетическое использование биомассы из заболоченных торфяников	95

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Karatkevich A. A., Luchina V. N.</i> Universal competences for sustainable development: defining boundaries and concepts	4
<i>Tolstaya E. V., Kozelko N. A.</i> Visual environment as an important environmental factor	13

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Mikheeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Dubko N. V., Veres Ju. K., Venchikov V. Ya.</i> Determination of component composition and qualitative characteristics of organic substance by spectral characteristics of water of the river Svisloch section in the summer period.	21
<i>Petrov D. L.</i> Complex assessment of injuriousness and harmfulness of terat-forming aphids-pests of ornamental woody plants in green areas in Belarus: current situation and its change since 2007	34
<i>Svistun A. K., Zhylkevich A. V.</i> Ecological and faunistic characteristics of the avifauna of the recreation zones of Minsk....	42

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Dvornik A. A., Dvornik A. M., Cheshik I. A., Haponenko S. O., Seglin V. N.</i> Estimation of forest fire risks on the territory of Gomel region with GIS technology	51
--	----

MEDICAL ECOLOGY

<i>Bakunovich A. V., Lobanok L. M., Zinchenko A. I., Bulanova K. Ya.</i> Diadenosine tetraphosphate effect on the functional activity of pregnant women with pre-eclampsia at oxidative stress	60
<i>Ikonnikova N. V., Lobai M. V.</i> Biological properties and immunotropic effects of the genus <i>Cordyceps</i> fungi	68
<i>Tarun E. I., Dankova A. V., Pyrko A. N.</i> Antioxidant activity of hexahydroquinolines	77

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Lityyak V. V.</i> Prospects of manufacture of modern packaging materials with the application of biodelessed polymer compositions	84
<i>Barz M., Kabengele G., Brandt A., Wichtmann W., Wenzel M., Wichmann S., Oehmke C., Dahms T., Borg L.</i> Energetic utilization of biomass from rewetted peatlands	95

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.
№ 2. 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 20.03.2019.
Тираж 100 экз. **Заказ**.

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

© БГУ, 2019

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 2. 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. Karaneuskaja*
Technical editor *M. Yu. Moshkova*
Proofreader *M. Yu. Moshkova*

Signed print 20.03.2019.
Edition 100 copies. **Order number**.

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

© BSU, 2019