



ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECOLOGY

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

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

1

2018

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ПОЗНЯК С. С.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Ответственный секретарь** **ЛЫСУХО Н. А.** – кандидат технических наук, доцент; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: nlysukha@mail.ru
- Батян А. Н.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Герменчук М. Г.** ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Кильчевский А. В.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- 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; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus. E-mail: direktor@iseu.by
Deputy editor-in-chief	POZNYAK S. S. , Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus. E-mail: pazniak@iseu.by
Executive secretary	LYSUKHA N. A. , PhD (engineering), Associate Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus. E-mail: nlysukha@mail.ru
<i>Batyan A. N.</i>	Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
<i>Hermenchuk M. G.</i>	State Scientific and Technical Institution «Center for Nuclear and Radiation Safety» of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Golubev A. P.</i>	Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
<i>Golovaty S. E.</i>	Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
<i>Grichik V. V.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus
<i>Dardynskaya I. V.</i>	World Health Center «Great Lakes», Chicago, USA.
<i>Zafranskaya M. M.</i>	Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
<i>Kilchevsky A. V.</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Korovin Y. A.</i>	Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
<i>Lengfelder E.</i>	Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munchen, Germany.
<i>Lyberatos G.</i>	Athens Technical University, Athens, Greece.
<i>Loginov V. F.</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Medvedev S. V.</i>	The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Stepanov S. A.</i>	International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
<i>Stozharov A. N.</i>	Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
<i>Tarutin I. G.</i>	N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Szyszko J.</i>	Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 330.837:502.57

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И МЕЖДУНАРОДНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Н. Н. БАТОВА¹⁾

¹⁾*Институт экономики Национальной академии наук Беларуси,
ул. Сурганова, д. 1, корп. 2, 220072, Минск, Беларусь*

Выявлены особенности влияния институциональной среды на устойчивое развитие, а также противоречия между экологическими, социальными и экономическими его составляющими. Установлено, что культурные традиции, религия, институты собственности и т. д. влияют на выбор эколого-экономической политики. Этим обусловлено индивидуальное формирование устойчивого типа развития в каждой стране при сохранении его общих принципов.

Раскрыта сущность концепции «зеленого» роста, базирующейся на принципах эко-эффективности, ресурсосбережения, единства и межсекторальности, реализация которой, обеспечивая баланс эколого-экономического роста, способствует переходу к устойчивому развитию.

Одним из аспектов институционального механизма формирования устойчивости экологического развития определены так называемые агрегированные показатели, позволяющие судить как о степени устойчивости государства, так и о траектории его эколого-экономического развития: индекс развития человеческого потенциала, индекс экологической устойчивости, природный капитал и др. Представлены результаты межстранового сравнения рейтинговой оценки критериев и индикаторов экологической составляющей устойчивого развития Беларуси.

Образец цитирования:

Батова Н. Н. Институциональные основы и международная оценка экологической составляющей устойчивого развития // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 4–14.

For citation:

Batava N. N. Institutional bases and international assessment of the ecological component of sustainable development. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 4–14 (in Russ.).

Автор:

Надежда Николаевна Батова – кандидат экономических наук; заведующий сектором эколого-экономических проблем.

Author:

Nadezhda N. Batava, PhD (economic); head of the section of ekologo-economic problems.
nbatova@tut.by

Ключевые слова: устойчивое развитие; экология; социо-эколого-экономические отношения; экономический рост; «зеленый» рост; экологические показатели.

INSTITUTIONAL BASES AND INTERNATIONAL ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL COMPONENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

N. N. BATAVA^a

^a*Institute of Economy of the National Academy of Sciences of Belarus, Surganov street 1/2, 220072, Minsk, Belarus*

The institutional environmental effect on sustainable development as well as contradictions between its environmental, social and economic components are revealed. It is established that cultural traditions, religion, institutes property greatly impact the choice of environmental and economical policy, and determine individual formation of sustainable type of development in each country when maintaining its general principles.

Key words: sustainable development; ecology; socio-ekologo-economic relations; economic growth; «green» growth; ecological indicators.

Введение

Идеи устойчивого развития имеют решающее значение в определении стратегических приоритетов экономики большинства стран. Они определяют необходимость комплексных институциональных изменений, которые бы способствовали обеспечению социально-экономического роста в условиях ограниченности природных ресурсов и необходимости решения экологических проблем. Решение комплекса институциональных организационных проблем устойчивого развития требует активного участия всего мирового сообщества, глобального согласования действий, отражения основных положений и принципов в наднациональных и национальных программах развития. Международные институциональные основы устойчивого развития включают:

- решения, нормы и обязательства, принятые на международном уровне;
- инструменты сотрудничества в форме программ, стратегий и планов действий, реализуемых в рамках международных учреждений в соответствии с международной нормативно-правовой базой во исполнение принятых решений и обязательств [1].

Создание эффективной институциональной базы устойчивого развития и укрепления механизмов его достижения является основой выполнения Повестки дня на период до 2030 г. Приоритетное значение при этом отводится международной координации устойчивого развития на основе «создания институциональных рамок», которые должны, сбалансированно интегрируя его составляющие, обеспечивать нахождение общих решений глобальных проблем, способствовать выполнению обязательств, закрепленных в итоговых документах конференций и встреч на высшем уровне Организации Объединенных Наций в экономической, социальной и экологической областях, а также учитывать национальные приоритеты и стратегии [2].

В общем виде функцию устойчивого развития во времени с учетом основных параметров можно представить в следующем виде:

$$F_t(L, K, P, I) < F_{t+1}(L, K, P, I),$$

где L – трудовые ресурсы, K – искусственно созданный (физический) капитал, средства производства, P – природные ресурсы, I – институциональный фактор, $t > 0$.

Таким образом, институциональная среда выступает одним из четырех измерений устойчивого развития, в числе которых также представлены экономическая, экологическая и социальная составляющие (рис. 1).

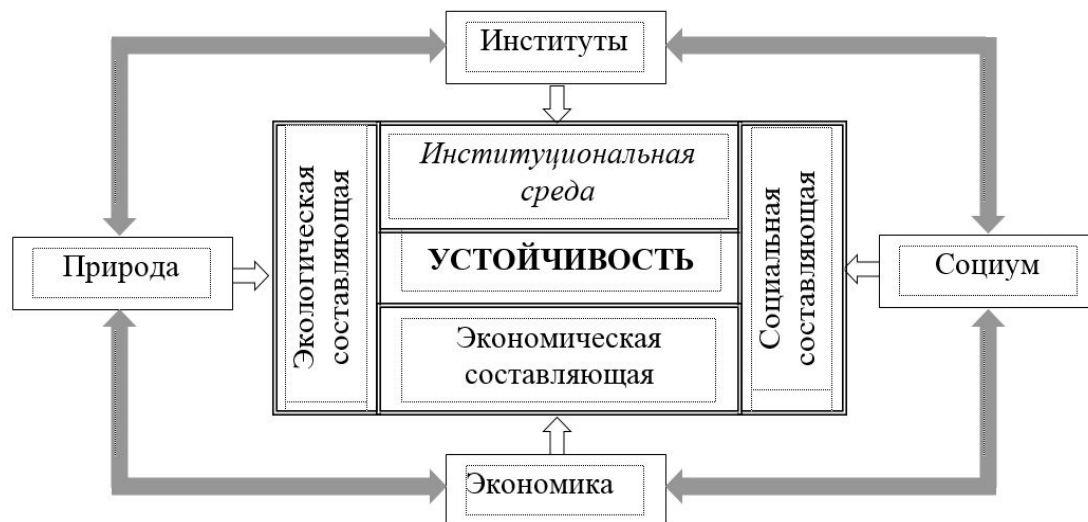


Рис. 1. Взаимодействие составляющих устойчивого развития

Fig. 1. Interaction of components of sustainable development

Примечание. Рисунок составлен на основе исследований автора.

Результаты исследования и их обсуждение

Социо-эколого-экономические отношения и институциональная среда формируются и изменяются в сложном взаимодействии. С одной стороны, институты отражают и закрепляют систему, так как в изменении институтов и институциональной среды реализуются различные интересы субъектов хозяйственной деятельности, отражающие их место и роль в общей системе отношений. С другой стороны, сами социо-эколого-экономические отношения развиваются под воздействием сложившейся институциональной среды, стабилизирующей сложившийся порядок и фиксирующей в своих элементах (нормах, традициях, правилах поведения, организациях) [4].

Отметим, что экономическая составляющая наиболее подвижна, а экологическая и социальная достаточно консервативны, однако в совокупности они являются взаимосвязанными и, взаимодействуя друг с другом, порождают следующие новые задачи устойчивого развития:

- экономическая и социальная – достижение справедливости внутри одного поколения (например, в отношении распределения доходов) и оказание целенаправленной помощи бедным слоям населения;
- экономическая и экологическая – стоимостная оценка и интернационализация (учет в экономической отчетности предприятий) внешних воздействий на окружающую среду;
- социальная и экологическая – внутри- и межпоколенное равенство, включая соблюдение прав будущих поколений, и участия населения в процессе принятия решений [3, с. 16].

А. И. Лученок, разрабатывая теоретико-методологические основы институциональной политики, определяет в качестве основной задачи институтов уменьшение неопределенности в деятельности организаций и индивидов путем установления устойчивых (хотя не обязательно эффективных) механизмов взаимодействия участников общественных отношений [5]. Согласование экономических интересов на всех уровнях осуществляется как формальными, так и неформальными институтами; при этом создание и изменение формальных институтов во многом зависит от неформального воздействия со стороны представителей различных социальных макрогрупп [6].

Таким образом, институциональная система находится в тесной взаимосвязи с социально-экологическими факторами экономического роста. В частности, устойчивый экономический рост обеспечивает повышение уровня жизни населения, а развитие экологически безопасных технологий, рынков экологических товаров и услуг способствует улучшению состояния окружающей среды. Наряду с положительными сторонами экономический рост имеет и отрицательные, выражающиеся преимущественно в увеличении отходов.

Как отмечают белорусские ученые В. Е. Левкевич, П. Г. Никитенко и др., экономический рост не может быть самоцелью. Он должен обеспечивать улучшение качества жизни, полную занятость, сокращение нищеты, совершенствование характера распределения доходов, сохранение среды обитания. Естественно, что одним из основных источников ресурсов для экономического роста служит природная

среда. Ее состояние является критерием процесса устойчивого развития, что предопределяет целесообразность перехода цивилизации нового типа – цивилизации равновесного природопользования, где антропогенное воздействие на природу будет приведено в соответствие со способностью природных систем нести эту нагрузку [7].

Систематизация трудов отечественных и зарубежных ученых позволила установить, что достижение целей устойчивого развития возможно в рамках становления и формирования с учетом современных тенденций институциональной среды, включающей широкий спектр формальных и неформальных институтов, обеспечивающих решение экологических, экономических и социальных задач (рис. 2).

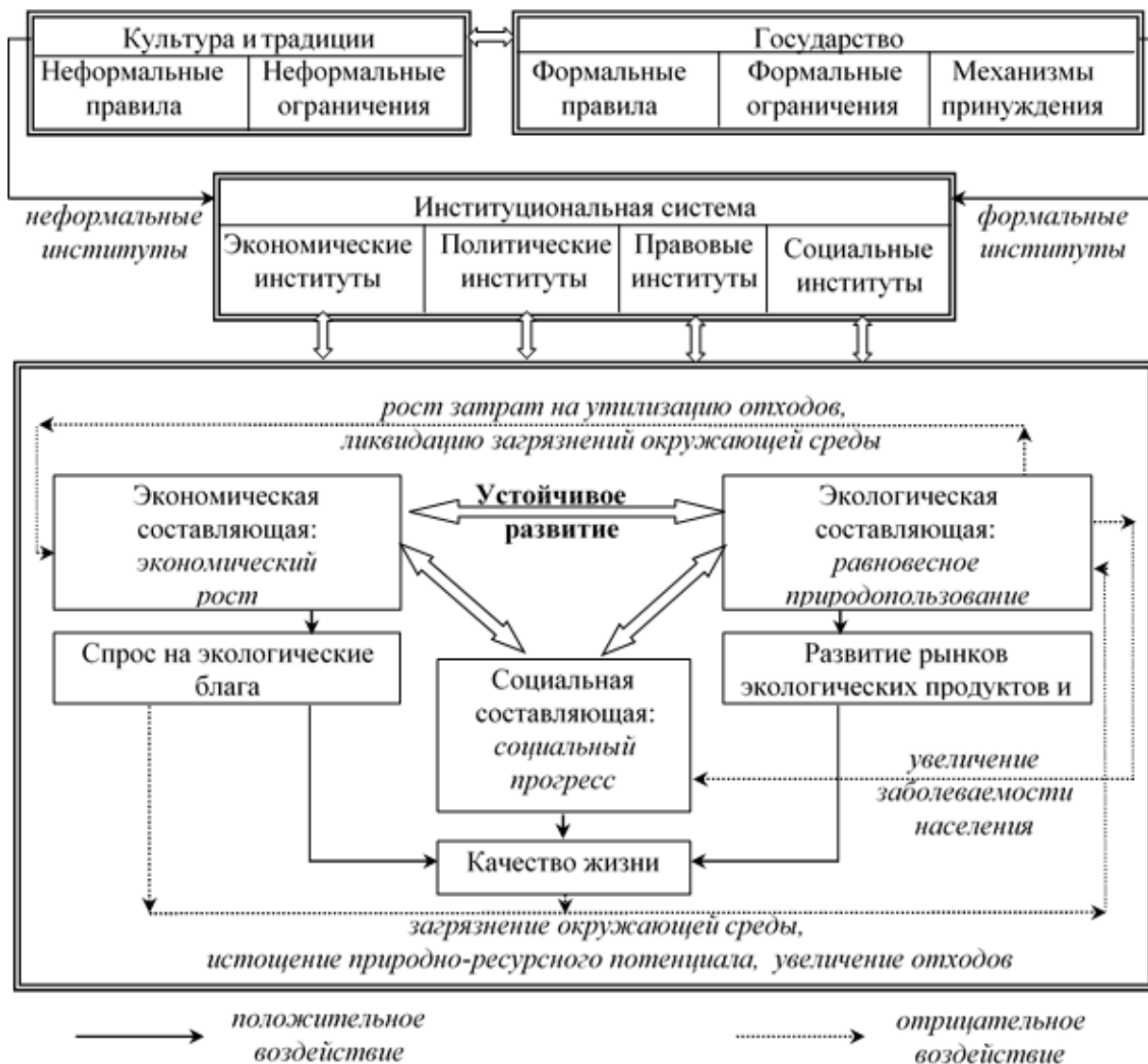


Рис. 2. Институциональные аспекты устойчивого развития

Fig. 2. Institutional aspects of sustainable development

Примечание. Рисунок составлен на основе исследований автора.

В современных условиях хозяйствования экологическая составляющая имеет приоритетное значение. Согласно Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 г., из 17 целей, по которым государствами-членами ООН были взяты обязательства по их достижению к 2030 г., семь относятся к экологическим:

- обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех;
- обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех;
- содействие поступательному, всеохватывающему и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех;

- обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства;
- принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями;
- сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития;
- защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия [6].

Значимость экологической составляющей также подтверждается оценками экспертов Всемирного экономического форума, ежегодно представляемыми в Глобальных отчетах о рисках (The Global Risks Report). В пятерке наиболее вероятных рисков 2018 г. – три из сферы экологии: чрезвычайные погодные условия; стихийные бедствия; изменения климата. При этом акцентируется внимание на том, что необходимо учитывать не только данные риски в отдельности, но и тесную их взаимосвязь с рисками других категорий – экономическими, геополитическими, технологическими, социальными [8].

Достижение устойчивости невозможно за счет загрязнения окружающей среды под воздействием производственных факторов, истощения природно-ресурсного потенциала из-за его неэффективного использования; увеличения заболеваемости населения, проживающего в экологически опасных местах, а также снижения эффективности производства вследствие роста затрат на хранение, утилизацию отходов и ликвидацию загрязнений окружающей среды, а также добычу полезных ископаемых [9, с. 267–286; 10].

В качестве первой стадии перехода к устойчивому развитию как на страновом, так и на глобальном уровнях рассматривается концепция «зеленого» роста, позволяющая выявить новые потенциальные источники экономического роста, не создавая при этом «неустойчивой» нагрузки на количество и качество природных богатств [11]. Концепция базируется на принципах экоэффективности, ресурсосбережения, единства, межсекторальности. Их интеграция в процесс стратегического планирования развития национальных экономик осуществляется с помощью следующих механизмов: реформирование системы бюджетных отношений посредством введения экологических налогов; внедрение моделей устойчивого производства и потребления; развитие «зеленого» бизнеса; формирование устойчивой инфраструктуры (табл. 1).

Таблица 1

Основные механизмы и инструменты внедрения принципов «зеленого» роста

Table 1

Main mechanisms and instruments of introduction of the principles of «green» growth

Механизмы и инструменты	Основное предназначение
Реформирование системы бюджетных отношений посредством введения экологических налогов: эконалоги	Позволяют перенести налоговую нагрузку из традиционных видов деятельности на производства, загрязняющие окружающую среду
Формирование моделей устойчивого производства и потребления: экологически чистые государственные закупки, оценка жизненного цикла товаров и управление, основанное на спросе, учитывающем тенденции устойчивого потребления; стимулирование устойчивого использования ресурсов и повышения интереса к чистому производству посредством повторно го использования и утилизации отходов	Обуславливают заинтересованность производителей в более чистом, экологически устойчивом процессе производства
Развитие «зеленого» бизнеса: налоговые льготы, смягчение административных барьеров, внедрение различных форм государственно-частного экологического партнерства	Ориентированы на устойчивое использование возобновляемых природных ресурсов, выпуск экологически чистой продукции, использование малоотходных и ресурсосберегающих технологий
Формирование устойчивой производственной и социальной инфраструктуры	Позволяют минимизировать использование природных ресурсов для того, чтобы будущие поколения не испытывали недостатка в данном ресурсе

Примечание. Таблица составлена на основе исследований автора.

Одним из важнейших процессов институционализации экологической составляющей устойчивого развития выступает мониторинг, система проведения которого должна опираться на комплекс индикаторов. При этом межстрановые сравнения позволяют объективно оценить ситуацию, а также выявить уровень и тенденции развития Беларуси относительно других государств.

Индекс устойчивого развития¹ SSI (Sustainable Society Index) опубликован впервые в 2006 г. и обновляется раз в два года. В основу положено определение устойчивого общества, которое, во-первых, отвечает потребностям нынешнего поколения, во-вторых, не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности, в-третьих, каждый человек имеет возможность свободно развиваться в гармонии с его окружением [12]. Индекс измеряется в рейтинговой оценке стран по шкале от 1 до 10 (10 = устойчивый, 1 = не устойчивый) по 21 индикатору. На рисунке в серой зоне отражены показатели применительно к Республике Беларусь, черная линия отражает среднемировое взвешенное значение (рис. 3.).

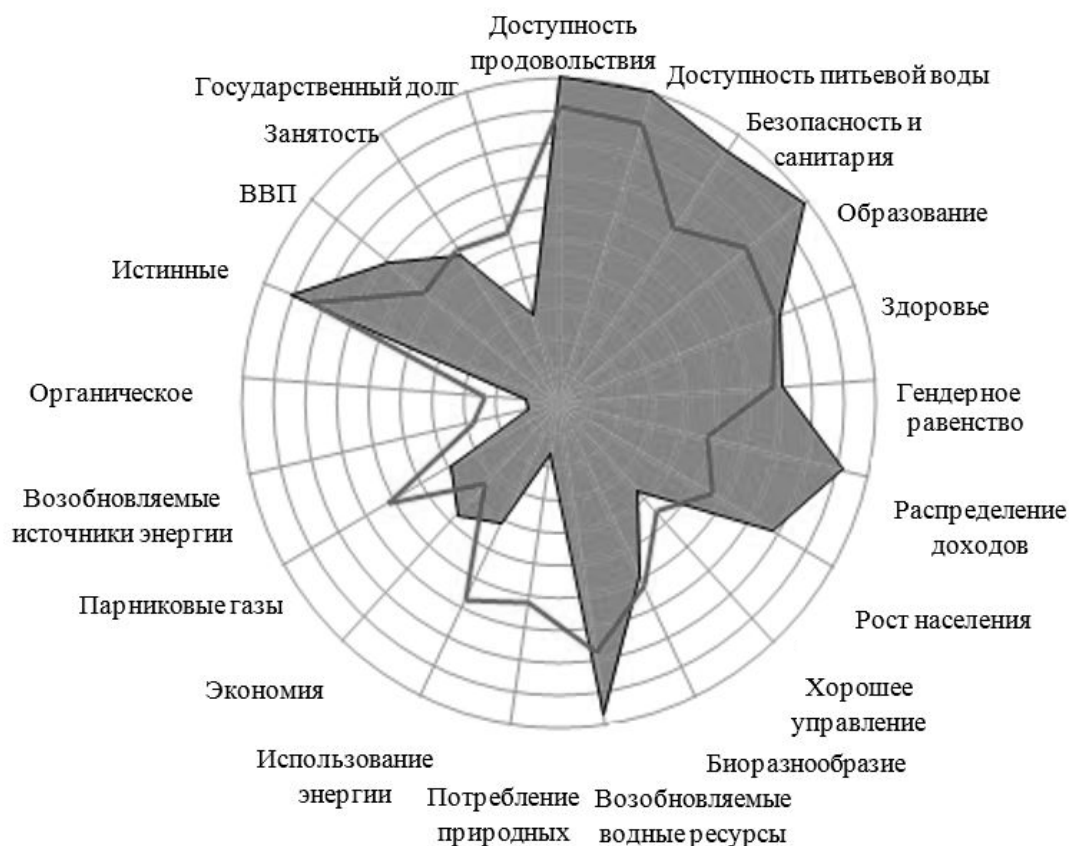


Рис. 3. Составляющие индекса устойчивого развития Беларуси, 2016 г.

Fig. 3. Components of the Sustainable Society Index of Belarus, 2016

Примечание. Рисунок составлен по данным Sustainable Society Foundation.

Достижение максимального значения таких индикаторов, как доступность продовольствия и питьевой воды (10,0 соответственно), превышение среднемировых значений по показателям безопасности и санитарии (9,4), образования (9,9), а также соответствие среднемировым значениям по уровню здоровья и гендерному равенству позволяет Республике Беларусь находиться в первой трети рейтинга стран по уровню человеческого благополучия (34 место в 2016 г.) на протяжении всего периода наблюдений, опережая все страны ЕАЭС (табл. 2).

За десятилетний период (2006–2016 гг.) наблюдается значительное ухудшение позиций Беларуси по группе индикаторов экономического благополучия. Беларусь опустилась на 38 пунктов в мировом рейтинге и заняла 89 место, при этом среднемировым значениям соответствуют только индикаторы ВВП (6,9), истинных сбережений (9,1) и занятости (5,5), существенные отставания отмечаются по показателям развития органического сельского хозяйства (1,0).

По уровню экологического благополучия Беларусь занимает 125 позицию, что во многом предопределено неустойчивостью основных индикаторов данной группы, из которых лишь показатель возобновляемых водных ресурсов находится практически на максимальном уровне (9,7), а показатель биоразнообразия (5,9) приближен к среднемировому значению.

¹ Рассчитывается некоммерческим Фондом устойчивого развития (Sustainable Society Foundation)

Таблица 2

Рейтинг стран ЕАЭС по составляющим индекса устойчивого развития

Table 2

The rating of the countries of the EEU on components of the Sustainable Society Index

Наименование	Республика Армения		Республика Беларусь		Республика Казахстан		Кыргызская Республика		Российская Федерация	
	2006 г.	2016 г.	2006 г.	2016 г.	2006 г.	2016 г.	2006 г.	2016 г.	2006 г.	2016 г.
Человеческое благополучие	45	42	30	34	46	43	62	59	59	64
Экологическое благополучие	68	108	104	125	135	138	40	77	140	144
Экономическое благополучие	117	121	51	89	116	40	133	145	49	37

Примечание. Таблица составлена автором по данным Sustainable Society Foundation.

Индекс экологической эффективности (*The Environmental Performance Index*)² представляет собой комбинированный показатель состояния охраны окружающей среды и эффективности управления природными ресурсами, рассчитываемый Центром экологической политики и права при Йельском университете. Рейтинг учитывает качество воды и воздуха, влияние окружающей среды на здоровье человека, эмиссию парниковых газов, площадь лесов, практику экономической деятельности и степень ее нагрузки на окружающую среду, а также эффективность государственной политики в области экологии и др.

В 2016 г. мировыми лидерами по уровню экологической эффективности стали Финляндия (90,68); Исландия (90,51); Швеция (90,43). Россия занимает в рейтинге 32 место, Беларусь – 35, Армения – 37 из 180 возможных. Несмотря на более чем 25 % улучшение своих позиций за прошедшее десятилетие, Казахстан занимает 69 место, Кыргызстан – 71 (табл. 3).

Таблица 3

Индикаторы индекса экологической эффективности стран ЕАЭС, 2016 г.

Table 3

Indicators of the Environmental Performance Index of the countries of EEU, 2016

Наименование	Республика Армения		Республика Беларусь		Республика Казахстан		Кыргызская Республика		Российская Федерация	
	балл	рейтинг	балл	рейтинг	балл	рейтинг	балл	рейтинг	балл	рейтинг
Индекс экологической эффективности	81,60	37	82,30	35	73,29	69	73,13	71	83,52	32
Влияние на здоровье человека	88,56	36	90,68	30	93,72	20	73,76	82	92,20	25
Качество воздуха	73,81	121	80,31	93	89,66	44	84,79	71	84,76	72
Вода и санитарные условия	82,92	77	91,12	48	81,87	81	74,63	105	84,22	74
Водные ресурсы	70,76	67	66,36	75	74,79	59	58,09	87	91,28	24
Сельское хозяйство	98,18	44	98,18	44	–	–	100	1	98,18	44
Лес	96,30	6	50,18	65	–	–	–	–	49,17	67
Рыбная ловля	–	–	–	–	–	–	–	–	57,81	36
Биоразнообразие	87,43	65	73,06	114	53,45	149	79,80	89	73,70	113
Изменение климата и энергетика	72,77	68	94,87	6	60,32	85	58,36	90	84,42	31

Примечание. Таблица составлена автором по данным Yale Center for Environmental Law & Policy, Yale University [13].

«Экологический след» (*The Ecological Footprint*)² рассчитывается ежегодно с 2003 г. международной организацией World Footprint Network более чем по 200 странам. Отражает площадь биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства потребляемых человеком ресурсов и поглощения отходов; выступает отрицательным экологическим показателем. Тесно связан с показателем биоемкости (Biocapacity), представляющим собой возможность биосферы Земли производить возобновляемые ресурсы и относящимся к положительным экологическим показателям. Таким образом, экологический след – это ресурсы, необходимые для удовлетворения потребностей человечества (их спрос), а биоемкость – это возможности Земли создавать необходимые ресурсы (предложение). Данные показатели по отдельности не дают экологической оценки, и только их сопоставление позволяет установить является ли страна «экологическим должником» или

² С 2001 г. по 2006 г. индекс экологической устойчивости.

«экологическим донором». Согласно оценкам экспертов World Footprint Network, развитые страны обладают большим экономическим следом и наносимый ими ущерб природе больше [14].

Экологический след среднего потребителя Беларуси (4,63 гга) более чем в 1,5 раза превышает соответствующий среднемировой показатель (2,87 гга), при этом страна имеет отрицательный экологический баланс, который в динамике имеет положительную тенденцию к повышению. Сравнительно большая величина экологического следа России (5,72 гга, против 2,87 среднемирового значения) все же не превышает лимит имеющихся у нее экологических ресурсов. Как следствие, Россия – единственная среди стран ЕАЭС, которая имеет положительный экологический баланс (+ 1,17 гга) (рис. 4).

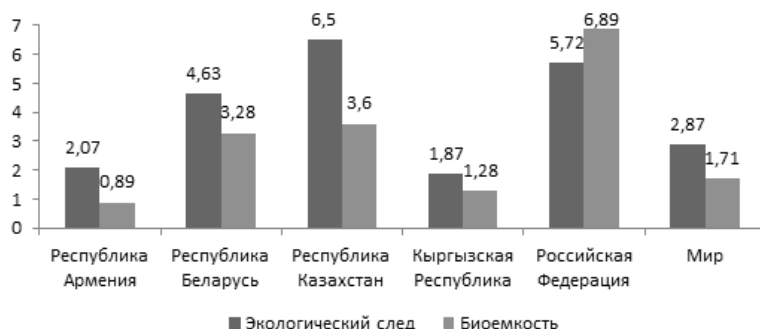


Рис. 4. Экологический след и биоемкость, глобальных гектаров на душу населения³

Fig. 4. Footprint and biocapacity, global hectares per capita

Примечание. Рисунок составлен автором по данным National Footprint Accounts – 2017 (расчетные данные за 2013 г.)

Сочетание показателя доступной биоемкости (среднемировая величина – 1,71 гга на жителя планеты), в большей степени отражающего экологическую составляющую устойчивости с индексом человеческого развития (пороговое значение высокого уровня жизни 0,7), позволяет рассчитать минимальные условия для устойчивого развития человечества. Страны, находящиеся в правом нижнем углу, демонстрируют высокий уровень развития и показатели потребления, не превышающие лимита восполняемых ресурсов. В настоящее время ни одна страна ЕАЭС не представлена в секторе, обозначающем высокий уровень устойчивого развития (рис. 5).

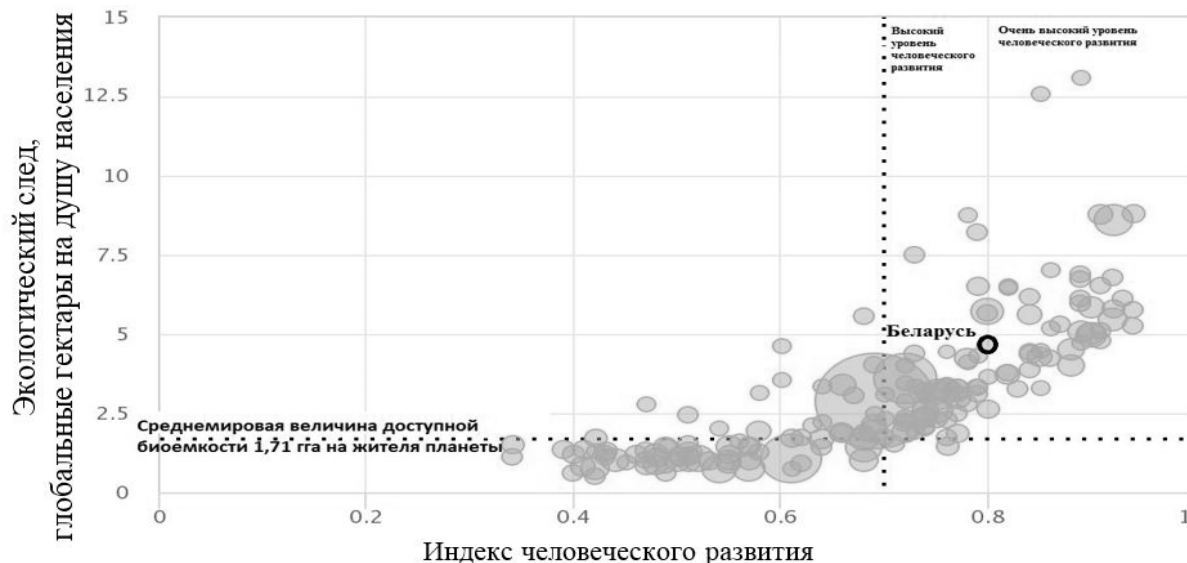


Рис. 5. Экологический след и индекс развития человеческого потенциала, 2013 г.

Fig. 5. Footprint and Human Development Index, 2013

Примечание. Рисунок составлен автором по данным National Footprint Accounts, 2017 (расчетные данные за 2013 г.)

³ Один глобальный гектар (гга) соответствует одному гектару биологически продуктивного пространства средней урожайности: 1 га пшеничных полей сопоставим с 2,1 гга; 1 га пастбищ – 0,5 гга; 1 га лесов – 1,4 гга; 1 га рыбноводческих территорий – 0,4 гга; 1 га застроенного пространства – 2,2 гга и т. д.

Индекс эффективности усилий в сфере защиты климата (Climate Change Performance Index – CCPI) определяется посредством тринадцати составных индикаторов, подразделяемых на три группы: тенденции выбросов, уровень выбросов, политика в отношении климата. Сравнивает показатели защиты климата в 61 стране, которые в совокупности ответственны более чем за 90 % глобальных выбросов CO₂, связанных с энергетикой, и ранжирует страны по уровням: отлично, хорошо, умеренно, слабо, очень слабо. Первые три позиции рейтинга преднамеренно остаются свободными, так как до сих пор ни одна страна не действует достаточно для предотвращения опасности изменения климата [15]. По оценкам 2017 г., возглавляют рейтинг Франция (66,17), Швеция (66,15) и Великобритания (66,10), занимающие 4, 5 и 6 места соответственно.

Страны ЕАЭС, включенные в рейтинг, относятся к группе с очень слабыми усилиями по защите климата, в частности Беларусь (46,86) занимает 49 позицию, Россия (44,30) – 53 и Казахстан (36,87) – 59 (табл. 4).

Таблица 4

Рейтинг стран ЕАЭС, включенных в расчет индекса эффективности усилий в сфере защиты климата, 2017 г.

Table 4

The rating of the EEU countries included in estimation of the Climate Change Performance Index, 2017

№ рейтинга	Страны ЕАЭС	Баллы	Удельный вес страны в мировых объемах, %			
			ВВП	численность населения	выбросы CO ₂	поставляемая первичная энергия
49	Республика Беларусь	45,86	0,16	0,13	0,18	0,20
53	Российская Федерация	44,30	3,18	1,98	4,53	5,19
59	Республика Казахстан	36,87	0,39	0,24	0,69	0,56

Примечание. Таблица составлена автором по данным Germanwatch.

Индекс изменения климата (The Global Climate Risk Index) позволяет анализировать, в какой степени страны пострадали от воздействия экстремальных погодных явлений. Согласно отчету 2017 г., отражающему двадцатилетние тенденции (1996–2015 гг.), изменчивость климата растет. Несмотря на то, что данный индекс не обеспечивает всеобъемлющего анализа рисков антропогенно-климатических изменений, однако он может выступать одним из показателей, характеризующих устойчивость развития в целом [16] (табл. 5).

Таблица 5

Рейтинг стран ЕАЭС по индексу изменения климата (в среднем) за двадцатилетний период 1996–2015 гг.

Table 5

The rating of the countries of EEU according to the Global Climate Risk Index, on average for the twenty-year period of 1996–2015

№ рейтинга	Страны ЕАЭС	Баллы	Погибшие (среднегодовая величина)		Среднегодовое число погибших жителей на 100 000 жителей		Потери, млн дол. США (согласно паритету покупательной способности)		Потери на единицу ВВП, %	
			значение	рейтинг	значение	рейтинг	значение	рейтинг	значение	рейтинг
31	Российская Федерация	48,17	2945,50	3	2,04	8	2065,513	14	0,0590	128
121	Республика Кыргызстан	109,83	12,80	73	0,24	64	3,380	156	0,0235	151
150	Республика Беларусь	135,67	4,95	102	0,05	128	13,997	134	0,0117	161
152	Республика Армения	139,50	0,20	166	0,01	172	18,295	127	0,1050	100
160	Республика Казахстан	146,67	5,20	101	0,03	151	12,998	137	0,0035	170

Примечание. Таблица составлена автором по данным Germanwatch.

Заключение

Таким образом, большинство индикаторов и индексов, во-первых, представляют базовые данные для оценки национальной политики в достижении странами глобальных показателей; во-вторых, служат механизмом сравнительного анализа ситуаций в разных странах по ключевым проблемам – снижению рисков для здоровья людей, обеспечению экологической безопасности, сохранению биоразнообразия и т. д.

Проведенные исследования позволили выявить приоритетность институционального фактора в обеспечении устойчивого развития, а также их двойственную взаимосвязь. С одной стороны, особенности национальной экономики формируют определенную систему институтов, ее специфику, но в то же время развитие институциональной среды определяет развитие экономики в целом и возможности экономического роста.

Установлено, что достижение устойчивого развития подразумевает не только необходимость формирования институциональных условий, но и создание на всех уровнях эффективно действующих, транспарентных, подотчетных и демократических институтов, в совокупности составляющих институциональную среду, благоприятствующую устойчивому развитию и экономическому росту. Культурные традиции, религия, институты собственности и т. д. оказывают огромное влияние на выбор эколого-экономической политики, что делает индивидуальным формирование устойчивого типа развития в каждой стране при сохранении его общих принципов.

Проведенный анализ индексов и систем рейтингов показал их адекватность, поэтому измерения индикаторов и расчеты интегральных индексов можно рассматривать как важный методический подход по выявлению проблем и недостатков экологической политики на фоне других стран мира. Индикаторы и индексы дают объективную картину состояния потребления ресурсов, остроты экологических проблем, эффективности экологической политики, демонстрируют области, на которых в перспективе необходимо акцентировать внимание для устранения отрицательных и усиления положительных факторов социально-экономического развития республики. Это в перспективе позволит повысить имидж Республики Беларусь на мировой арене.

Библиографические ссылки

1. Смирнов С. В. Роль экологического и социального совета ООН (ЭКОСОС) в формировании условий устойчивого мирового развития: автореф. канд. экон. наук.: 08.00.14. М., 2014.
2. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. / Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей ООН 25.09.2015 г. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/N1529192.pdf?OpenElement/> (дата обращения: 10.07.2017).
3. Зеркалов Д. В. Экологические проблемы устойчивого развития. Киев, 2012.
4. Сафонова О. Н. Эффективность институтов эколого-экономической системы // Методы решения экологических проблем: монография : в 7 т. Т. 4. Экологические вызовы и экономические возможности / под ред. д-ра экон. наук, проф. Л. Г. Мельника, канд. экон. наук, доц. О. А. Лукаш. Сумы, 2015. С. 178–195.
5. Лученок А. И. Использование неинституциональных подходов в Белорусской экономической модели // Белорусский экономический журнал. 2005. № 2. С. 4–12.
6. Лученок А. И. Институциональные инструменты реформирования экономики // Развитие экономики, политики, социума: состояние, проблемы, перспективы. 2017. № 6. С. 10–16.
7. Левкевич В. Е., Никитенко П. Г., Москвичев В. В. и др. Устойчивое развитие и природно-техногенная безопасность Беларуси и Красноярского края России. Минск, 2013.
8. The Global Risks Report 2018, 13th Edition [Electronic recourse] / Geneva: World Economic Forum Publishing, 2018. URL: <http://reports.weforum.org/global-risks-2018> (date of access: 24.01.2018).
9. Орехова Е. А. Экономическое развитие страны: сущность проявления и особенности реализации в современной России. Саратов, 2006.
10. Реус Н. И. Влияние экологического фактора на эволюцию концепций мирового развития // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2011. Т. 14, № 2. С. 452–457.
11. OECD Towards Green Growth, OECD Green Growth Studies, Towards green growth. A summary for policy makers [Electronic recourse] / OECD Publishing. May, 2011. 28 p.: URL: <http://www.oecd.org/greengrowth/48012345.pdf>. (date of access: 27.09.2017).
12. Kerk van de Geurt, Manuel A. Sustainable Society Index. SSI – 2014. Sustainable Society Foundation, The Hague, The Netherlands, 2014.
13. Global metrics for the environment. The Environmental Performance Index ranks countries' performance on high-priority environmental issues. 2016 Environmental Performance Index. [Electronic recourse] / New Haven, CT: Yale University. URL: www.epi.yale.edu (date of access: 11.07.2017).
14. Ruževičius J. Ecological footprint: evaluation methodology and international benchmarking // Current Issues of Business and Law. 2011. № 6. P. 11–30.
15. The Climate Change Performance Index – Background and Methodology [Electronic recourse] / Ed. Anika Busch, Kathy Bohnenberger and Alex Eden. Fourth Edition, November, 2011. P. 12. URL: <https://germanwatch.org/klima/ccpi-meth.pdf> (date of access: 20.07.2017).

16. Kreft S., Eckstein D., Melchior I. Global Climate Risk Index 2017. Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2015 and 1996 to 2015 [Electronic recourse]. November, 2016. URL: www.germanwatch.org/en/cri (date of access: 20.07.2017).

References

1. Smirnov S. V. Rol of ecological and social council of the UN (EKOSOS) in formation of conditions of sustainable world development: authoref. edging. econ. sciences. 08.00.14. Moscow, 2014 (in Russ.).
2. Transformation of our world: The agenda in the field of sustainable development until 2030 / the Resolution adopted by the United Nations General Assembly 9.25.2015. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/N1529192.pdf?OpenElement/> (date of access: 7.10.2017) (in Russ.).
3. Zerkalov D. V. Environmental problems of sustainable development [An electronic resource]: monograph. Kiev, 2012 (in Russ.).
4. Safonova O. N. Effektivnost of institutes of ekologo-economic system. *Methods of the solution of environmental problems: monograph*: in 7 t. T. 4. *Environmental challenges and economic opportunities*. Sumy, 2015. P. 178–195 (in Russ.).
5. Luchenok A. I. Use of neoinstitutional approaches in the Belarusian economic model. *Belarusian economic j.* 2005. No. 2. P. 4–12 (in Russ.).
6. Luchenok A. I. Institutional instruments of reforming of economy. *Development of economy, policy, society: state, problems, prospects*. 2017. No. 6. P. 10–16 (in Russ.).
7. Levkevich V. E., Nikitenko P. G., Moskvichev V. V., et al. Sustainable development and natural and technogenic safety of Belarus and Krasnoyarsk Krai of Russia. Minsk, 2013 (in Russ.).
8. The Global Risks Report 2018, 13th Edition [Electronic recourse] / Geneva: World Economic Forum Publishing, 2018. URL: <http://reports.weforum.org/global-risks-2018> (date of access: 24.01.2018).
9. Orekhovo E. A. Economic development of the country: essence of manifestation and feature of realization in modern Russia. Saratov, 2006 (in Russ.).
10. Reus N. I. Influence of an ecological factor on evolution of concepts of world development. *Messenger of the Murmansk state technical university*. 2011. Vol. 14, No. 2. P. 452–457.
11. OECD Towards Green Growth, OECD Green Growth Studies, Towards green growth. A summary for policy makers [Electronic recourse] / OECD Publishing. May, 2011. 28 p. URL: <http://www.oecd.org/greengrowth/48012345.pdf> (date of access: 27.09.2017).
12. Kerk van de Geurt, Manuel A. Sustainable Society Index. SSI – 2014. Sustainable Society Foundation, The Hague, The Netherlands, 2014.
13. Global metrics for the environment. The Environmental Performance Index ranks countries' performance on high-priority environmental issues. 2016 Environmental Performance Index. [Electronic recourse] / New Haven, CT: Yale University. URL: www.epi.yale.edu (date of access: 11.07.2017).
14. Ruževičius J. Ecological footprint: evaluation methodology and international benchmarking. *Current Issues of Business and Law*. 2011. No. 6. P. 11–30.
15. The Climate Change Performance Index – Background and Methodology [Electronic recourse] / Editing: Anika Busch, Kathy Bohnenberger and Alex Eden. *Fourth Edition*, November, 2011. P. 12. URL: <https://germanwatch.org/klima/ccpi-meth.pdf> (date of access: 20.07.2017).
16. Kreft S., Eckstein D., Melchior I. Global Climate Risk Index 2017. Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2015 and 1996 to 2015 [Electronic recourse]. November, 2016. URL: www.germanwatch.org/en/cri (date of access: 20.07.2017).

Статья поступила в редколлегию 01.02.2017.
Received by editorial board 01.02.2017.

УДК 377.011.3-051:502/504:69

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕДАГОГОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Н. В. КУЛАЛАЕВА¹⁾

¹⁾Институт профессионально-технического образования
Национальной академии педагогических наук Украины, пер. Вито-Литовский, 98а, 03045, Киев, Украина

Обозначены основные экологические вопросы современности, коснувшиеся Украины, решение которых возможно только благодаря широкому внедрению образования в интересах устойчивого развития. Дано обоснование необходимости повышения экологической компетентности украинских педагогов профессионально-технических учебных заведений строительного профиля для имплементации экологических знаний в профессиональную подготовку будущих строителей путем внедрения соответствующих дистанционных курсов, разработанных при участии автора. Анализируется содержание нормативных международных и украинских документов на предмет внедрения экологического компонента в профессиональное образование Украины. Доказано, что будущие строители нуждаются в формировании у них целостного представления о последствиях надвигающегося экологического кризиса, обусловленного демографическими, энергетическими, ресурсными, экономическими, социальными и др. процессами. Приведены примеры инициатив учебных заведений разных степеней аккредитации, реализующих стратегию экологического образования в Украине. Рассматриваются структура, а также цели модулей, разработанных автором, дистанционных курсов повышения экологической компетентности педагогических работников профессионально-технического образования Украины. Обоснованы концептуальные основы указанных дистанционных курсов: методологические подходы, дидактические принципы обучения, критерии отбора и структурирования содержания учебного материала.

Ключевые слова: образование в интересах устойчивого развития; экологическая компетентность; профессионально-технические учебные заведения строительного профиля; будущие квалифицированные рабочие строительного профиля; имплементация экологических знаний; дистанционные курсы; профессиональная подготовка будущих строителей.

INCREASE OF ENVIRONMENTAL COMPETENCE OF TEACHERS OF PROFESSIONAL AND TECHNICAL SCHOOLS OF THE CONTRUCTION PROFILE

N. KULALAIEVA^a

^aInstitute of Vocational Education and Training of NAPS of Ukraine, per: Vito-Litovski, 98a, 03045, Kyiv, Ukraine

The article outlines the main environmental issues of our time that have affected Ukraine. The solution of these issues is possible only due to the wide implementation of education for sustainable development. The author substantiates the necessity of increasing the environmental competence of Ukrainian teachers of professional and technical schools

Образец цитирования:

Кулалаева Н. В. Повышение экологической компетентности педагогов профессионально-технических учебных заведений строительного профиля // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 15–23.

For citation:

Kulalaieva N. V. Increase of environmental competence of teachers of professional and technical schools of the contruction profile. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 15–23 (in Russ.).

Авторы:

Наталья Валерьевна Кулалаева – кандидат химических наук, доцент, заведующий лабораторией технологий профессионального обучения.

Authors:

Natalia Kulalaieva, PhD (chemistry), associated professor; head of the laboratory for technologies professional training. culture2016@ukr.net

of the construction profile for the implementation of environmental knowledge in the training of future builders by introducing distance courses developed with the participation of the author. The analysis of the content of normative international and Ukrainian documents on the introduction of the environmental component into the professional education of Ukraine is given. It is proved that future builders need to form a holistic view of the consequences of the impending crisis caused by demographic, energy, resource, economic, social and other processes. There are given the examples of initiatives of educational institutions of different degrees of accreditation implementing the strategy of environmental education in Ukraine. The structure, as well as the goals of the modules developed by the author, of distance courses for increasing the environmental competence of teachers of professional and technical education of Ukraine are considered. The conceptual bases of the indicated distance courses are grounded: methodological approaches, didactic principles of training, criteria for selection and structuring of the content of the educational material.

Key words: education for sustainable development, environmental competence, professional-technical schools of the construction profile, implementation of environmental knowledge, distance Learning courses, professional training of future builders.

Стихийная антропогенная деятельность человечества привела к тому, что перед ним возникло обилие глобальных экологических проблем, среди которых изменение климата Земли; загрязнение воздушного бассейна; разрушение озонового слоя; истощение запасов пресной воды и загрязнение вод Мирового океана; загрязнение земель, разрушение почвенного покрова; оскудение биологического разнообразия и др.

В этой связи возникает необходимость повсеместного изменения подходов к хозяйствованию, обновлению промышленного оборудования, внедрению современных ресурсосберегающих и безотходных технологий, а главное – подготовка будущих квалифицированных рабочих и специалистов с новым «зеленым» мышлением, со сформированными у них экологической и энергоэффективной компетентностями. Такая необходимость обоснована изменением образовательной парадигмы и практическим направлением обучения, требующего от будущих работников осознания ответственности за последствия своей профессиональной деятельности, понимания ими тех воздействий на окружающую среду, которые генерируются при этом.

В Украине также накопилось много нерешенных вопросов, касающихся техногенной, природной и социальной сфер жизнедеятельности человека. Проблемы хранения и утилизации отходов, накопление в атмосфере опасных для биоты вредных веществ, загрязнение водоемов сточными водами промышленных и коммунальных предприятий, нерациональное использование и истощение почв, увеличение количества заболеваний со смертельным исходом, повышенная аварийность (в результате отказов устаревшего оборудования) требуют адекватной реакции соответствующих государственных органов управления. Все это происходит на фоне неустойчивого состояния системы профессионально-технического образования (ПТО) Украины, недостатка средств в учебных заведениях для качественной подготовки квалифицированных рабочих и специалистов, способных решать указанные проблемы.

Понятно, что функционирование системы хозяйствования в таких условиях вынуждает практически все отрасли промышленности негативно воздействовать на окружающую среду. Однако особенно следует отметить строительную, поскольку зачастую именно она негативно влияет как на отдельные компоненты окружающей среды, так и на устойчивость экосистем в целом. При этом следует уделять особое внимание уровню подготовки строителей-профессионалов.

Таким образом, обновление и обогащение содержания экологического образования, поиск эффективных форм педагогического влияния на учащихся и студентов с целью формирования в структуре их сознания экологических ценностей и мотивов для участия в природоохранной деятельности можно обозначить в качестве первоочередных задач, стоящих перед педагогическими работниками системы ПТО Украины.

Цель исследования – обоснование необходимости повышения экологической компетентности украинских педагогов профессионально-технических учебных заведений (ПТУЗ) строительного профиля для имплементации экологических знаний в профессиональную подготовку будущих строителей путем внедрения соответствующих дистанционных курсов, разработанных при участии автора.

Внедрение экологического компонента в профессиональное образование Украины согласуется с требованиями следующих международных документов – Международного симпозиума по устойчивому развитию университетов (WSSD-U-2012); Парижского соглашения Сторон Рамковой конвенции ООН про изменение климата (декабрь 2015 г.); «Повестки дня для устойчивого развития до 2030 года», принятой на саммите ООН по Развитию (сентябрь 2015 г.); Платформы для действий «Образование-2030», принятой на 38-й сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО (ноябрь 2015 г.); добровольных обязательств Украины по экологизации образования (Greening of Education: Ukraine's Contribution), взятых на саммите ООН «Рио+20» (июнь 2012 г.) и т. д.

Согласно Л. М. Титаренко [1], экологическая компетентность – это способность личности принимать решения и действовать так, чтобы наносить как можно меньше вреда окружающей среде; применение экологических знаний и опыта в профессиональных и жизненных ситуациях, руководствуясь приоритетностью экологических ценностей на основе осознания личной причастности к экологическим проблемам и ответственности за экологические последствия собственной деятельности.

При этом, говоря об экологической компетентности строителей, следует остановиться на следующих видах негативного воздействия строительной отрасли на окружающую среду. Это изъятие из нее пространственно-территориальных земельных ресурсов, ресурсов флоры и фауны, полезных ископаемых, агрокультурных ресурсов, культурных, исторических и природных памятников, визуальных доминант, определяющих характерный вид ландшафта и т. п. Привнесение в окружающую среду – эмиссия загрязняющих веществ, излучений, шума и вибраций, тепла, визуальных доминант, не характерных для природного ландшафта и т. п. Кроме того, когда речь идет о вреде, наносимом экосистемам во время строительства, следует помнить и об источниках этого негативного воздействия. К ним относят:

- новые материальные объекты (здания, сооружения), размещаемые на предполагаемой строительной площадке;
- элементы основной и вспомогательных технологий, функционирование которых является причиной изменения ландшафтов и загрязнения окружающей среды;
- объекты, чей жизненный цикл связан со строительством или их эксплуатацией в будущем;
- объекты ранее осуществляемой, но в данный момент прекращенной хозяйственной деятельности (отвалы, терриконы, накопители, свалки и т. д.).

По данным Международной организации труда [2], около 60 тыс. человек ежегодно получают смертельные травмы, а несколько сотен тысяч работников – серьезные увечья и проблемы со здоровьем на строительных площадках. Как отмечалось нами ранее [3, с. 141], строители непосредственно испытывают влияние таких опасностей, как радиационная, химическая, физическая (влияние среды пребывания), биологическая и социальная (психофизиологическая).

Следовательно, формирование у будущих строителей целостного представления о последствиях надвигающегося экологического кризиса, с учетом взаимообусловленности демографических, энергетических, ресурсных, экономических, социальных и др. Процессов, является крайне необходимым. Хотелось бы отметить влияние строительной отрасли на развитие таких демографических проблем, как увеличение количества населения на планете и концентрации людей в отдельных крупных местных агломерациях – мегаполисах. Указанное, прежде всего, связано с принципиальными техническими изменениями, структурной перестройкой промышленности, переходом к высокотехнологичному производству и т. п. По мнению Н. Моисеева [4], рост мегаполисов – это «естественное явление». Оно не является изобретением отдельных людей, а представляет собой следствие самоорганизации общества. Такая стремительная урбанизация требует от строителей быстрой реакции, воплощающейся сейчас в «зеленом» строительстве. Задачи последнего: сокращение совокупного (за весь жизненный цикл здания) пагубного воздействия строительства на здоровье человека и окружающую среду; создание новых экологичных промышленных продуктов; снижение нагрузок на региональные энергетические сети и повышение надежности их работы; создание новых рабочих мест в интеллектуальной сфере производства; снижение расходов на содержание новых построенных зданий. К тому же, энергетическая эффективность, комфортное пребывание в зданиях и снижение при этом негативного воздействия на окружающую среду – это главные аспекты «устойчивого», «зеленого» строительства. Отметим, что уровень биопозитивности зданий и сооружений существенно повышается при использовании соответствующих материалов; учете требований сенсорной экологии; сокращении электропотребления и повышении теплозащитных свойств поверхностей сооружений; установлении специальных установок для утилизации возобновляемой энергии в конструкциях зданий, а также при сортировке и утилизации бытовых отходов и т. п.

Решение указанных экологических вопросов возможно только при условии широкого внедрения «образования в интересах устойчивого развития». Его цель – формирование у будущих квалифицированных рабочих экономного отношения к использованию природного сырья с учетом соотношения количества и темпа потребления; сокращение энергетических затрат, в том числе на добычу и переработку полезных ископаемых; минимизация отходов и вредных выбросов в окружающую среду, предотвращение биосферных нарушений и т. д.

Подчеркнем, что именно образование, способствующее сохранению интеллектуального потенциала государства и обеспечивающее гарантии доступа к получению гражданами экологических знаний, является инструментом реализации стратегии устойчивого развития. Международное сообщество также поддерживает эти инициативы. Так, участники Всемирной конференции ЮНЕСКО по образованию в интересах устойчивого развития (Айти-Нагоя, Япония) приняли Декларацию [5], в которой призвали

ученых, образовательные и профессиональные учебные заведения поощрять образовательные инновации на основе междисциплинарного подхода, обеспечивать обучение, профессиональную подготовку и повышение квалификации педагогических работников. Целью перечисленных действий является эффективная интеграция «образования для устойчивого развития» в учебные программы, создание дистанционных платформ для обмена опытом и распространения знаний, использование с этой целью информационных технологий.

В Украине также существует значительное количество документов, касающихся экологизации образования: Закон «Об образовании», Национальная стратегия развития образования в Украине на период до 2021 года (2013 г.), Стратегия устойчивого развития «Украина – 2020» (2015 г.), Аналитический доклад к Ежегодному Посланию Президента Украины к Верховному Совету Украины «О внутреннем и внешнем положении Украины в 2015 году» (2015 г.), Решение коллегии Министерства образования и науки Украины от 27 ноября 2015 г. «Об экологизации высшего образования Украины с целью подготовки специалистов для устойчивого развития» и т. д.

В частности, Законом Украины «Об образовании» [6] предусмотрено формирование у молодого поколения знаний о природе, человеке, обществе и производстве, а также экологическое воспитание. Приоритетные задачи государственной политики Украины в сфере экологической и техногенной безопасности изложены в Послании Президента Украины к Верховному Совету Украины «О внутреннем и внешнем положении Украины в 2015 году» [7]. В документе, в частности, отмечается: реформирование сферы охраны окружающей среды и снижение уровня ее загрязнения в соответствии с экологическим компонентом Соглашения про ассоциацию между Украиной и Европейским союзом; развитие ресурсо-эффективной, «зеленой» и низкоуглеродной экономики, внедрение инновационных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий.

В Стратегии устойчивого развития «Украина – 2020» [8] обозначены программы сохранения окружающей природной среды, обеспечения энергоэффективности, здорового образа жизни, развития детей и юношества. Она определяет цель, векторы движения, дорожную карту, первоочередные приоритеты и индикаторы надлежащих оборонных, социально-экономических, организационных, политико-правовых условий для становления и развития Украины. В документе подчеркивается, что особое внимание следует уделить обеспечению безопасности жизни и здоровья человека, эффективной медицины, безопасного состояния окружающей среды и доступа к качественной питьевой воде, безопасных пищевых продуктов и промышленных товаров.

В Национальной стратегии развития образования в Украине на период до 2021 г. [9] значится, что одним из стратегических направлений государственной политики в сфере образования должно стать формирование безопасной образовательной среды и экологизация образования. К тому же ключевой задачей образования в XXI веке является развитие мышления, ориентированного на перспективу. Современный рынок труда требует от выпускника ПТУЗа не только глубоких теоретических знаний, но и способности самостоятельно использовать их в нестандартных, постоянно изменяющихся жизненных ситуациях, перехода от знаниевой к компетентностной парадигме общества. Подчеркивается также необходимость обеспечения доступности и непрерывности образования на протяжении всей жизни человека, а также совершенствования системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации педагогических кадров ПТО.

Исследуя вопросы непрерывного экологического образования, Л. Б. Лукьянова [10] к компонентам системы экологического образования в ПТУЗ отнесла систему экологических знаний, систему научно-методического обеспечения и систему педагогических технологий.

В данном контексте большое значение имеет решение Коллегии Министерства образования и науки Украины «Об экологизации высшего образования Украины с целью подготовки специалистов для устойчивого развития» [11], касающееся также экологического образования детей и учащейся молодежи. Предлагается значительный объем мероприятий по формированию экологической компетентности учащихся и студентов (акции по сохранению электроэнергии, тепла и воды, использование солнечной энергии, раздельный сбор мусора и бытовых отходов, термоизоляция домов и т. п.). Кроме того, рекомендуется включение экологической компетентности специалиста в список компетентностей, а также введение экологической составляющей (компонента) в содержание учебных дисциплин (предметов) всех отраслей знаний.

В Аналитическом докладе Национального института стратегических исследований к Ежегодному Посланию Президента Украины к Верховному Совету Украины «О внутреннем и внешнем положении Украины в 2015 году» [12] также подчеркивается приоритетность задач государственной политики Украины в сфере экологической и техногенной безопасности. Построение системы мероприятий для предупреждения и устранения увеличивающихся угроз критической инфраструктуре (объектам жизнеобеспечения

общества) должно основываться на внедрении культуры управления рисками, а главным элементом политики, направленной на поддержание соответствующего уровня безопасности и устойчивости критической инфраструктуры, должно стать эффективное государственно-частное партнерство в области энергетической, техногенной и экологической безопасности. Отмечается также, что состояние окружающей среды в Украине долгое время характеризуется высоким уровнем техногенных нагрузок на земельные, водные, биотические и минерально-сырьевые ресурсы. В этой связи, защита окружающей среды должна стать проактивной, направленной на преодоление не только последствий, но и негативных тенденций влияния человеческой деятельности на окружающую среду. Для чего необходимо обеспечить формирование безопасной экологической среды, включающее:

- реформирование сферы охраны окружающей среды и снижение уровня ее загрязнения в соответствии с экологическим компонентом Соглашения про ассоциацию между Украиной и Европейским союзом;
- развитие ресурсо-эффективной, «зеленой» и низкоуглеродной экономики, внедрение инновационных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий;
- совершенствование институциональных механизмов государственной системы природоохранного управления;
- формирование в обществе экологических ценностей и принципов устойчивого потребления и производства.

Стратегию экологического образования в Украине реализуют благодаря инициативам учебных заведений разных степеней аккредитации. При этом объем экологической информации в содержании специальных предметов ПТУЗов имеет незначительный, фрагментарный, а отчасти формальный и несистемный характер, не дающий учащимся в полной мере осознавать полученные знания и сознательно использовать их в профессиональной деятельности. Формирование экологических знаний в системе ПТО обеспечивается предметом «экология», который входит в блок предметов общеобразовательной подготовки. На его изучение отводится 17 ч от общего количества – 1944 ч, что составляет 0,88 %. Несмотря на такое количество выделяемого учебного времени, преподаватели ПТУЗов все же находят возможность для имплементации экологического компонента в содержание профессиональной подготовки будущих рабочих и специалистов.

Следует отметить, что в содержание учебных программ предметов «Специальная технология» и «Производственное обучение» вводятся темы по охране окружающей среды, объемом до 10 ч. Значительная экологическая составляющая профессионального образования представлена в учебном курсе «Основы энергоэффективности», разработанного научными сотрудниками Института ПТО Национальной академии педагогических наук Украины, его программа утверждена Министерством образования и науки Украины (приказ № 947 от 13.10.2010 г.). Материалы курса используются ПТУЗами, где ведется подготовка квалифицированных рабочих и специалистов для промышленности и строительства. При подготовке будущих профессионалов вводятся авторские курсы и учебные пособия, созданные педагогами ПТУЗов и учеными Национальной академии педагогических наук Украины. Например, разработаны курсы «Культура экологического поведения», «Мой экологический выбор» и др.

В Украине подготовка будущих квалифицированных рабочих в ПТУЗах осуществляется для всех отраслей экономики по 35 направлениям и видам хозяйственной деятельности более чем по 500 профессиям. В то же время наблюдается позитивная тенденция к интегрированию профессий, когда учащийся за время обучения овладевает несколькими профессиями, в том числе и «зелеными». Так, в Национальном классификаторе профессий Украины ДК 003:2010 уже существует несколько таких профессий, например: 8169 «Оператор энергосберегающего оборудования зданий» [13]. Среди видов работ, которые ему следует выполнять, значится установка, обслуживание и ремонт солнечных батарей и коллекторов, изготовление и монтаж отопительных котлов на экологически чистом топливе и т. п.

Необходимо добавить, что экологизация образования предусматривает не только экологизацию его содержания, включение экологической проблематики в учебные планы и образовательные программы ПТУЗов, но и формирование «зеленого» мышления учащихся, ориентацию будущих рабочих на разработку и использование экологически чистых технологий и производств, воспитание уважения к правам будущих поколений, путем привлечения также элементов неформального и информального образования.

В процесс экологизации профессионального образования Украины вовлекаются педагогические работники системы ПТО практически всех ее областей. Так, интересен опыт региональной системы экологического образования учащихся ПТУЗ Днепропетровской области, в которой реализуется областной педагогический проект «Вектор образования – ценность жизни». В рамках последнего создана областная педагогическая лаборатория для разработки и коррекции прогрессивных методик эффективного формирования экологического сознания учащихся ПТУЗов на базе соответствующих

учебных заведений. В указанной лаборатории разработаны следующие направления педагогического поиска моделей экологического образования:

- образование в интересах сбалансированного развития;
- молодежное движение и его роль в неформальном экологическом обучении;
- содействие – двигатель энергоэффективности;
- школа здорового способа жизни;
- зеленый росток будущего;
- научно-педагогические аспекты эколого-просветительской работы.

Педагогические работники системы ПТО Николаевской области создают электронные пособия по экологии, уроки-презентации (например, в ПТУЗе г. Южноукраинска разработаны уроки-презентации на тему «Проблемы экологии, связанные с энергетикой»). Педагоги проводят различные экологические турниры, вместе с учащимися осуществляют экологические проекты («От экологии окружающей среды к экологии души»). В Высшем профессиональном училище строительства и архитектуры г. Луцка экологическое воспитание учащихся осуществляется в процессе разработки и внедрения проектов озеленения территории училища. Кроме того, его воспитанники принимают участие во внеклассных мероприятиях «Природа вокруг нас», «Озеленение страны – наследство будущих поколений», «Правила поведения в природе» и др. В Южноукраинском профессиональном лицее учащиеся выпускают научно-ученический журнал «Экологический вестник». Однако анкетирование показало, что несмотря на перечисленные мероприятия, реализуемые украинскими педагогами, существует объективная необходимость в повышении их экологической компетентности.

С этой целью в рамках международного проекта TEMPUS «ЭкоБРУ» для повышения квалификации педагогических работников системы ПТО Украины сотрудниками Института профессионально-технического образования Национальной академии педагогических наук Украины создана электронная платформа дистанционного профессионального обучения (e-learning.org.ua). При активном участии автора разработаны междисциплинарные дистанционные курсы повышения экологической и энергоэффективной компетентности педагогов ПТУЗов строительного профиля.

В качестве концептуальных основ спроектированных нами дистанционных курсов (после всестороннего анализа известных методологических подходов и принципов обучения) были определены наиболее действенные, с нашей точки зрения, критерии отбора и структурирования содержания учебного материала. Основными методологическими подходами к формированию экологической компетентности педагогических работников ПТУЗов, по нашему мнению, являются:

- системный, рассматривающий обучение как целенаправленную творческую деятельность, требующую согласования системообразующих связей между целями, задачами, содержанием, формами и методами обучения;
- синергетический, включающий самоорганизацию, саморазвитие личности, взаимодействующей с окружающей средой, что вызывает изменение и становление ее новых качеств;
- личностный, рассматривающий учащегося как продукт общественно-исторического развития, цель, субъект, результат и основной критерий эффективности педагогического процесса; направлен на создание условий для развития профессионально важных личностных свойств и качеств учащихся;
- компетентностный, обеспечивающий аксиологическую, мотивационную, рефлексивную, когнитивную, операционно-технологическую составляющие результата обучения, свидетельствующие о приращении не только знаний, умений и навыков, но и практического опыта, эмоционально-ценностного отношения к действительности;
- деятельностный, реализующий процесс взаимодействия человека с окружающей средой и осуществляющий организацию деятельности субъекта обучения, в которой последний является активным в познании, труде, общении и развитии. В данном подходе как метод деятельности учащегося, развивающий у него способность к синтезу знаний из разных предметов и в единичном видеть общее, выступают межпредметные связи.

Кроме того, формирование и развитие «зеленого» мировоззрения будущих строителей базируется на положениях принципов устойчивого развития: природосоответствия, биосферосовместимости, энергоэффективности, взаимообусловленности и взаимодействия элементов экологической системы, использования ее природных форм и моделей, полифункциональности элементов, минимизации отходов и ограничения углеродных ресурсов, вторичного использования отходов.

Следует также подчеркнуть, что содержание экологического компонента профессиональной компетентности педагогических работников ПТУЗов целесообразно проектировать в соответствии с требованиями дидактических принципов: гуманитаризации; фундаментализации; соответствия содержания образования условиям развития общества, науки, культуры и личности будущего профессионала,

когнитивной и процессуальной составляющей обучения; преемственности содержания образования на разных уровнях его формирования. При этом принцип гуманитаризации способствует развитию мировоззрения педагогических работников ПТУЗ, в том числе и экологического. К тому же он позволяет акцентировать внимание педагогов на повышении уровня их экологической, экономической, правовой, нравственной, художественной и в целом профессиональной культуры. В свою очередь, принцип фундаментализации способствует интеграции гуманитарного и естественно-научного знания, установлению междисциплинарных связей, осознанной продуктивной деятельности педагогических работников ПТУЗов с целью приобретения новых компетентностей. Последнее приведет к повышению экологической компетентности не только педагогов, но и имплементации экологических знаний в систему подготовки будущих квалифицированных рабочих строительного профиля.

Обоснованные принципы позволили выделить соответствующие критерии отбора и структурирования содержания учебного материала дистанционных курсов повышения экологической компетентности педагогических работников ПТУЗов:

- целостное отражение в содержании курсов современных подходов к гармоничному развитию личности педагога и формированию его профессиональной культуры;
- научную и практическую значимость содержания, включаемого в учебный материал;
- соответствие содержания учебного материала профессиональным потребностям педагогов;
- соответствие объема содержания учебного материала времени, отведенному на его изучение;
- соответствие содержания учебного материала курсам учебно-методического и материально-технического обеспечения;
- отбор учебного материала с учетом междисциплинарного подхода и модульного структурирования.

Результаты опроса педагогических работников системы ПТО Украины, а также анализ существующего учебно-методического обеспечения и литературных источников из области экологизации профессионального образования позволили определиться с тематикой, содержанием и структурой разработанных нами курсов. Модули разработанных междисциплинарных дистанционных курсов повышения экологической и энергоэффективной компетентности педагогов ПТУЗов строительного профиля, а также их цели приведены в таблице.

Таблица

Модульная структура разработанных курсов

Table

Modular structure of worked out courses

Название курсов	Модули курсов	Цели модулей курсов
Культура экологической безопасности профессиональной деятельности в строительной отрасли	Идентификация понятия «культура экологической безопасности профессиональной деятельности»	Ознакомиться с инструментарием формирования культуры экологической безопасности будущих строителей, а также с правовыми основами охраны окружающей среды в строительстве
	Современные концепции экологической безопасности	Знать, понимать и оценивать разные концепции экологической безопасности
	Влияние строительной отрасли на экосистемы	Оценивать влияние строительной отрасли на природные экосистемы
	Использование и утилизация строительных отходов	Моделировать вторичное использование строительных отходов
	Эко-нейтральные технологии в строительстве	Усвоить метод проектов при формировании культуры экологической безопасности будущих строителей
Энергоэффективная компетентность педагогических работников ПТУЗов строительного профиля	Нормативно-правовое обеспечение энергосбережения	Познакомиться с правовыми основами обеспечения энергосбережения в Украине
	Энергетическая стратегия и программы энергосбережения	Представлять энергетическую стратегию и программы по энергосбережению
	Основные направления энергосбережения	Ориентироваться в основных направлениях энергосбережения в строительной отрасли
	Энергосбережение в зданиях	Моделировать мероприятия по энергосбережению в строительной отрасли
	Основы психологии энергосберегающего поведения	Разрабатывать рекомендации по формированию у учащихся ПТУЗов энергосберегающего поведения

Окончание табл.

Ending table

Название курсов	Модули курсов	Цели модулей курсов
Эко-ориентированные педагогические технологии	Эко-ориентированные педагогические технологии	Использовать в профессиональной деятельности различные педагогические технологии для развития культуры безопасности профессиональной деятельности
	Проблемное обучение	Анализировать методы проблемно-развивающего обучения
	Кейс-метод	Характеризовать специфику, основные компоненты и формы реализации кейс-метода
	Проектное обучение	Использовать метод проектов в учебном процессе для формирования культуры безопасности профессиональной деятельности
	Игровое обучение	Выбирать имитационно-игровые методы обучения для экологического познания в спецпредметах

Первый курс направлен на развитие экологического мировоззрения и приоритетов экологической безопасности в профессиональной деятельности педагогических работников. Второй – на пополнение их профессиональной компетентности знаниями из области энергоэффективности. К тому же, его целью является разъяснение педагогам психологических основ энергосберегающего поведения для формирования у учеников установок на энергосбережение и рациональное природопользование. Третий – на усовершенствование педагогического мастерства и практическое применение в преподавательской деятельности современных интерактивных методов обучения.

В качестве форм контроля и оценки знаний и умений были использованы: тестирование, индивидуальные задания, круглые столы в режиме офлайн, анкетирование, выборочные опросы в чате, конкурсы проектов. Кроме того, дистанционное обучение было организовано специальным образом, что позволило проектировать индивидуальные траектории обучения педагогов.

Таким образом, имплементация экологического компонента в профессиональное образование Украины будет способствовать интеграции экологического императива в разные отрасли знаний, формированию «зеленого» мировоззрения у будущих квалифицированных рабочих и специалистов, построению новых моделей производства и потребления, экологическому обновлению системы хозяйствования. Последнее позволит преодолеть деструктивный характер нынешней экономики, осуществить ее реальное реформирование в соответствии с целями устойчивого развития и задачами евроинтеграции. Результатом экологизации образования, требующего динамических творческих действий академического сообщества, а следовательно, и повышения экологической и энергоэффективной компетентностей педагогических работников, станет высокопрофессиональное кадровое обеспечение устойчивого развития.

Библиографические ссылки

1. Титаренко Л. М. Формування екологічної компетентності студентів біологічних спеціальностей університету : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.07. Київ, 2007.
2. Продвижение культуры охраны труда: Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда [Электронный ресурс]. Женева, 2005. URL: <http://www.ilo.org/.../index.htm> (дата обращения: 10.12.2017).
3. Кулалаева Н. В. Безпека забудови інфраструктури лєтовищ // Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: зб. наук. праць XV міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 19–20 травня 2016 р. Київ, 2016. С. 140–143.
4. Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации. Путь разума [Электронный ресурс]. Москва: яз. рус. культуры, 2000. URL: <http://old.rgo.ru/wp-content/uploads/2010/09/3.-Моисеев.pdf> (дата обращения: 14.12.2017).
5. Аїті-Нагойська Декларація щодо Освіти для Сталого Розвитку [Электронный ресурс] / Официальный сайт Международного образовательного проекта для школьной молодежи и взрослых «Освіта для сталого розвитку в дії». URL: <http://www.esd.org.ua/node/872> (дата обращения: 08.11.2017).
6. Закон України «Про освіту» [Электронный ресурс]. Відомості Верховної Ради УРСР. 2016, № 10, ст. 100. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1060-12> (дата обращения: 12.11.2017).
7. Щорічне Послання Президента України до Верховної Ради України «Про внутрішнє та зовнішнє становище України в 2015 році» [Электронный ресурс] / Офіційне інтернет-представництво Президента України. URL: <http://www.president.gov.ua/news/shorichne-poslannya-prezidenta-ukrayini-do-verhovnoyi-radi-u-35412> (дата обращения: 23.12.2017).
8. Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» [Электронный ресурс] / Указ Президента України від 12.01.2015 № 5/2015. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5/2015#n10> (дата обращения: 24.12.2017).
9. Про Національну стратегію розвитку освіти в Україні на період до 2021 року [Электронный ресурс] / Указ Президента України від 25.06.2013 № 344/2013. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/344/2013> (дата обращения: 27.12.2017).

10. Лук'янова Л. Б. Пріоритети неперервної екологічної освіти в професійній школі // Неперервна професійна освіта: проблеми, пошуки, перспективи: монографія. Київ, 2000. С. 412–431.
11. Рішення Колегії Міністерства освіти і науки України від 27.11.2015 протокол № 10/5-4 «Про екологізацію вищої освіти України з метою підготовки фахівців для сталого розвитку» [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Міністерства освіти і науки України. URL: <http://mon.gov.ua/about/kolegiya-ministerstva/rishennya-kolegiyi-ministerstva.html> (дата звернення: 23.12.2017).
12. Аналітична доповідь до Щорічного Послання Президента України до Верховної Ради України «Про внутрішнє та зовнішнє становище України в 2015 році» [Електронний ресурс]. Київ, 2015. URL: http://www.niss.gov.ua/public/File/2015_book/POSLANNYA-2015_giper_new.pdf (дата звернення: 13.12.2017).
13. Класифікатор професій ДК 003:2010 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.dk003.com> (дата звернення: 04.12.2017).

References

1. Tytarenko L. M. Formuvannya ekologichnoji kompetentnosti studentiv biologichnykh specialnostej universytetu : dys. ... kand. ped. nauk : 13.00.07. Kyiv, 2007 (in Ukrainian).
2. Prodvizhenie kultury okhrany truda: Doklad MOT k Vsemirnomu dnyu okhrany truda [Elektronnyy resurs]. Zheneva, 2005. URL: <http://www.ilo.org/.../index.htm> (date of access: 10.12.2017) (in Russ).
3. Kulalajeva N. V. Bezpeka zabudovy infrastruktury letovyshh. *Bezpeka zhyttja i dijalnosti ljudyny – osvita, nauka, praktyka*: zb. nauk. pracj KhV mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kyiv, 19–20 travnja 2016 r. Kyiv, 2016. P. 140–143 (in Ukrainian).
4. Moiseev N. N. Sudba tsivilizatsii. Put razuma [Elektronnyy resurs]. Moskva, 2000. URL: <http://old.rgo.ru/wp-content/uploads/2010/09/3.-Moiseev.pdf> (date of access: 14.12.2017).
5. Ajti-Naghojsjka Deklaracija shhodo Osvity dlja Stalogo Rozvytku [Elektronnyj resurs] / Ofycyalnyj sayt Mezhdunarodnogho obrazovateljnogho proekta dlja shkolnoj molodezhy u vzroslykh «Osvita dlja stalogo rozvytku v diji». – URL: <http://www.esd.org.ua/node/872> (date of access: 08.11.2017).
6. Zakon Ukrainy «Pro osvitu» [Elektronnyj resurs]. – Vidomosti Verkhovnoji Rady URSR. – 2016, № 10, st.100. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1060-12> (date of access: 12.11.2017).
7. Shhorichne Poslannja Prezydenta Ukrainy do Verkhovnoji Rady Ukrainy «Pro vnutrishnje ta zovnishnje stanovyshe Ukrainy v 2015 roci» [Elektronnyj resurs] / Oficijne internet-predstavnytvo Prezydenta Ukrainy. URL: <http://www.president.gov.ua/news/shorichne-poslannja-prezidenta-ukrayini-do-verhovnoyi-radi-u-35412> (date of access: 23.12.2017).
8. Pro Strategiju stalogo rozvytku «Ukraina – 2020» [Elektronnyj resurs] / Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 12.01.2015 № 5/2015. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5/2015Nen10> (date of access: 24.12.2017).
9. Pro Nacionaljnu strategiju rozvytku osvity v Ukraini na period do 2021 roku [Elektronnyj resurs] / Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 25.06.2013 № 344/2013. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/344/2013> (date of access: 27.12.2017).
10. Luk'janova L. B. Priorytety neperervnoji ekologichnoji osvity v profesijnij shkoli // Neperervna profesijna osvita: problemy, poshuky, perspektyvy: monoghrafija. Kyiv, 2000. P. 412–431 (in Ukrainian).
11. Rishennja Koleghiji Ministerstva osvity i nauky Ukrainy vid 27.11.2015 protokol # 10/5-4 «Pro ekologhizaciju vyshhoji osvity Ukrainy z metoju pidghotovky fakhivciv dlja stalogo rozvytku» [Elektronnyj resurs] / Ofycyalnyj sayt Mynysterstva obrazovanyja y nauky Ukrainy. URL: <http://mon.gov.ua/about/kolegiya-ministerstva/rishennya-kolegiyi-ministerstva.html> (date of access: 23.12.2017).
12. Analitychna dopovidj do Shhorichnogho Poslannja Prezydenta Ukrainy do Verkhovnoji Rady Ukrainy «Pro vnutrishnje ta zovnishnje stanovyshe Ukrainy v 2015 roci» [Elektronnyj resurs]. Kyiv, 2015. URL: http://www.niss.gov.ua/public/File/2015_book/POSLANNYA-2015_giper_new.pdf (date of access: 13.12.2017).
13. Kласифікатор професій ДК 003:2010 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.dk003.com> (date of access: 04.12.2017).

Статья поступила в редколлегию 05.02.2018
Received by editorial board 05.02.2018

ИЗУЧЕНИЕ

И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY

AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 574:54-31]:502.51(282)(477)

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ РЕК УКРАИНЫ

Т. Н. АЛЁХИНА¹⁾

¹⁾ГНУ «Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины»,
ул. Пушкина 37, 50000, Кривой Рог, Украина

Представлены результаты исследований содержания и распределения оксидов железа в донных осадках рек Днепр, Южный Буг, Ингулец и Ингул. Проанализирована зависимость содержания и распределения оксидов железа от гранулометрического состава осадков рек. Содержание оксидов железа имеет высокие позитивные коэффициенты корреляции с пелитовой фракцией осадков для всех исследованных рек, за исключением Ингульца. Показано, что изменения в соотношении Fe_2O_3 / FeO позволяют раскрыть наличие восстановительных условий в донных осадках. Предложено использовать этот показатель как абиотический индикатор экологического состояния рек.

Ключевые слова: донные осадки рек; оксиды железа; гранулометрический состав осадков.

Образец цитирования:

Алёхина Т. Н. Содержание и распределения оксидов железа в зависимости от гранулометрического состава донных осадков рек Украины // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 24–29.

For citation:

Alekhina T. M. Content and distribution of oxides of the generation depending on the granulometric composition of the donal sediments of the rivers of Ukraine. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 24–29 (in Russ.).

Авторы:

Татьяна Николаевна Алёхина – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Отдела проблем экологической геологии и разведки рудных месторождений.

Authors:

Tatiana M. Alekhina, PhD (biological); senior researcher; leading researcher of the department of problems ecological geology and development of ore deposits.
Alohkina@gmail.com

CONTENT AND DISTRIBUTION OF OXIDES OF THE GENERATION DEPENDING ON THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE DONAL SEDIMENTS OF THE RIVERS OF UKRAINE

T. M. ALEKHINA^a

*^aDepartment of Sea Geology and Sediments of the National Academy of Science of Ukraine,
Pushkina street, 37, 50000, Krivoy Rog, Ukraine*

The article presents the results of studies of the content and distribution of iron oxides in the bottom sediments of the Dnieper, Yuzhny Bug, Ingulets and Ingul rivers. The dependence of the content and distribution of iron oxides on the granulometric composition of river sediments is analyzed. The iron oxide content has high positive correlation coefficients with the pelitic precipitation fraction for all the studied rivers, with the exception of Ingulz. It is shown that changes in the $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ ratio make it possible to reveal the presence of reducing conditions in bottom sediments.

Key words: bottom sediments of rivers, iron oxides, granulometric composition of sediments.

Introduction

Bottom sediments of rivers in the modern era increasingly turn to waste depository technological activity. On the one hand, this is due to the growing flow of industrial and domestic discharges, on the other hand – biodegradation rates of decreasing ability of rivers to cleanse themselves, which plays a significant role in their overregulation.

Processes formation of watercourse and delta, sedimentation, transporting distribution streams and reservoirs are largely dependent on particle size that are suspended and transferred by water flow in the form of suspension and those who sunk and moved down.

Researching grain size (structural frame) bottom sediments can better understand the physical and chemical processes that occur in them and their ecological role. However, the chemical composition of bottom sediment geochemical characteristics reflects both the catchment area and the coastal landscape and the intensity and magnitude of anthropogenic pollution [1–3].

Search for cheap, but informative indicators of ecological state of ponds and watercourses, numerical analysis of the literature resources and long independent research allowed us to form our own approach of understanding and forecast of pond's ecological condition, based on studies of bottom sediments as more conservative, in comparison to the water system. Determination and the ratio of iron oxides (FeO and Fe_2O_3) in bottom sediments to some extent characterizes the redox processes occurring in the pond and makes it possible to use these figures as indicators of an abiotic environmental state of the pond.

The aim of our study was to determine the concentration and the ratio (k) of Fe_2O_3 and FeO , and their dependence on grain size distribution of bottom sediments of a number of rivers in Ukraine.

Material and Methods

There have been large-scale studies of bottom sediments lower reaches of the Dnipro and Southern Bugh, and their lower tributaries – Inhulets and Inhul respectively. The basis of the presented research is results of the analysis of samples of bottom sediments, which were selected in expeditions during 2010–2016 years. The choice of the research area is due to considerable anthropogenic pressure on the hydro ecosystems, owing to the location of significant industrial and agricultural capacities in this region. The sampling points were located along profiles that crossed the investigation objects (fig. 1). The Dnipro river research area is the lower reaches, from vil. L'vove (below the Kakhovska hydroelectric station) and to the estuary; 3 profiles were laid, 56 samples were selected. The research area of the Southern Bugh – from 143 km above the delta and before falling into the Dnipro-Bugh estuary; 4 profiles were laid, 50 samples were selected. Inhulets and Inhul were investigated from the headwaters and to the delta, and 72 samples from Inhulets and 68 from Inhul were selected. Overall analyzed 246 samples of bottom sediments.

Samples were taken with the special equipment by submerged or drilling. The thickness of the deposited layer selected for analysis is 0,1–0,65 m. The selected samples after drying were subjected to averaging at the points of selection.

The determination of granulometric composition of bottom sediments was carried out on the basis of standard technique by a sieve method [4]. From the average, by the method of the «ring of the cone», samples of the primary weight of 1,0–1,5 kg were selected mass 100–200 g. After the sifting with the laundering,

12 fractions were allocated: $+10\text{ mm}$; $10\div5$; $5\div3$; $3\div2$; $2\div1$; $1\div0,5$; $0,5\div0,315$; $0,315\div0,25$; $0,25\div0,1$; $0,1\div0,07$; $0,07\div0,05$ and $<0,05\text{ mm}$, which were then divided into 4 fractions.

The determination of iron oxides (FeO and Fe_2O_3) was carried out titrimetrically according to standard methods [5, 6]. For chemical analysis the dry averaged weight of the sample of bottom sediments weighing 100g was selected.

The results were statistically analyzed using correlation study.

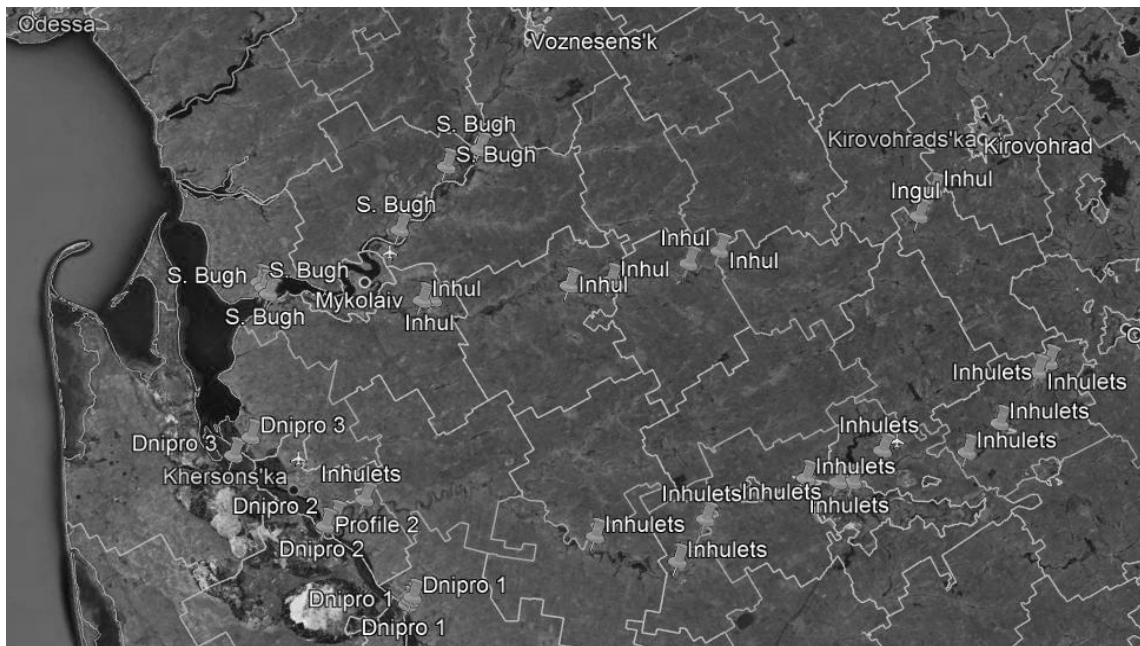


Рис. 1. Район исследования (карты Google Earth)

Fig. 1. The research area (Google Earth)

Results and Discussion

A significant slowdown of flow Ukraine major rivers (the Dniro and the Southern Bugh), which is a consequence of global regulation clearly reflected in such indicators as size distribution of bottom sediments. According to [7], the number of reservoirs within the river basins is: for the Southern Bugh – 186, for the Dniro within Ukraine and without taking into account the Dniro cascade – 498. Of course, this has affected the flow speed, which according to various estimates decreased to 30 times for the Dniro and 10–15 times for the Southern Bugh.

After examining and analyzing what has been done, the recounting of relative content of sediment particle size to 4 major particle size fractions has happened: psephite, psammite, silts and pelity (table 1).

The data listed in tabl. 1 shows a significant variation in grain size and at the same time make it possible to identify a tendency to increase pelitic fraction in sediments and arrange on this indicator rivers in the following row: Dniro < Inhulets < Inhul < Southern Bugh. However, despite the tendency to silting, in general, has preserved natural facial distribution of sediment, except there are areas within a border of large industrial cities (eg Inhulets within Kriviy Righ).

An important factor influencing the process of forming a chemogenic and biogenic complex of bottom sediments is the saturation of the water object with oxygen. Bottom sediments of natural water flow relate to the balanced aerobic-anaerobic system type. However, there are the shifts of aerobic-anaerobic balance toward anaerobic, which in turn leads to the formation of another chemogenic complex and partial or total destruction of conventional ecotypes [8]. One of the indicators of aerobic-anaerobic shift in balance toward reduction can be displacement the ratio in the bottom sediments of iron oxides, namely the predominance of FeO over Fe_2O_3 [9]. Recently, more attention is devoted to this issue. It was analyzed, the dynamics of accumulation and the features of the distribution of a number of metals, including iron oxides, in bottom sediments of rivers as a result of the development of anaerobic conditions, depending on the volumes of organic matter flow, whose rate of biodegradation does not keep pace with the rate of its receipt [10; 11].

Таблица 1

Гранулометрический состав донных осадков исследованных рек

Table 1

Granulometric composition of bottom sediments

Investigated indicators, particle size fractions		Investigated rivers, (n – number of sample)			
		Dnipro, n=56	Inhulets, n=72	Southern Bugh, n=50	Inhul, n=68
Psephite, % (>2 мм)	min-max	0–80,53	0–11,8	1,1–59,7	0,47–29,5
	M±m	23,07±26,32	3,19±3,52	17,52±19,73	14,98±9,43
Psammite, % (2–0,1 мм)	min-max	7,62–93,56	0–46,4	3,9–59	7,8–79,87
	M±m	47,54±27,12	9,50±10,54	25,49±17,96	43,83±21,07
Silts, % (0,1–0,05 мм)	min-max	2,76–28,39	0,1–5,4	0–8,1	0–3,53
	M±m	10,52±7,38	1,59±1,47	1,61±2,72	1,76±1,08
Pelity, % (<0,05 мм)	min-max	0–62,58	2,9–97,1	3,7–88,1	8,3–89,6
	M±m	18,85±20,92	36,53±32,93	55,37±30,35	48,95±26,12

We have analyzed the concentration and ratio (k) of iron oxides in the upper layer of bottom sediments (table 2, fig. 2) rivers of Ukraine. Comparing the average values of the content of iron oxides (fig. 2) can be noted that the largest concentration determined in r. Inhulets, and the lowest in the Dnipro (Inhulets > Inhul > Southern Bugh > Dnipro). The content of iron oxides in the river Inhulets is relatively high in comparison to other rivers and is conditioned by the metallogenic specialization catchment area that significantly increases by allothigenic material of industrial origin of overburden dumps, tailings and reservoir of enterprises of Kriviy Righ [12].

Таблица 2

Содержание и соотношение (k) оксидов железа (FeO и Fe₂O₃ в донных осадках)

Table 2

The content and the ratio (k) of iron oxides in bottom sediments

Investigated indicators		Investigated rivers, (n – number of sample)			
		Dnipro, n=56	Inhulets, n=72	Southern Bugh, n=50	Inhul, n=68
FeO, %	min-max	0,1–1,9	0,1–6,12	0,1–1,1	0,5–1,9
	M±m	0,62±0,16	1,24±0,61	0,71±0,19	1,2±0,06
Fe ₂ O ₃ , %	min-max	0,1–1,1	0,3–11,31	0,3–2,3	0,57–3,67
	M±m	0,4±0,09	2,58±0,95	0,64±0,12	2,12±0,45
k (Fe ₂ O ₃ / FeO)		0,64	2,08	0,90	1,77

Distribution of iron oxides in bottom sediments of investigated rivers

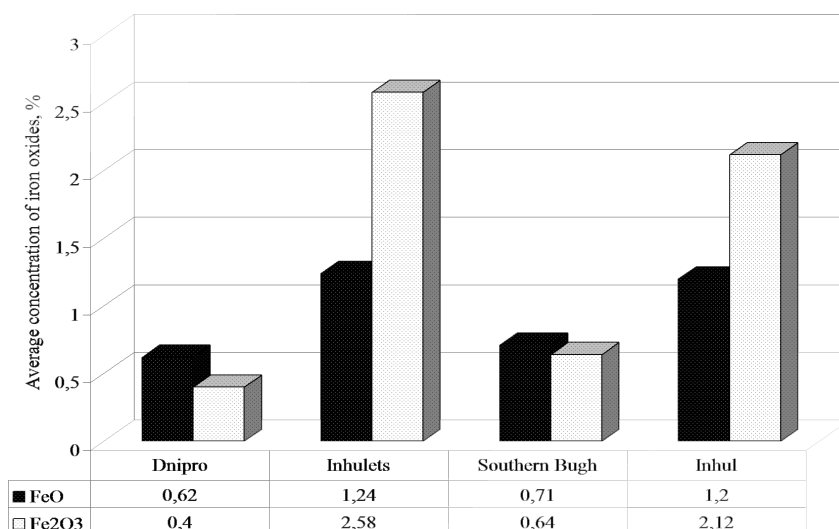


Рис. 2. Среднее содержание оксидов железа в исследованных реках, (%)

Fig. 2. The average content of iron oxides in the investigated rivers (%)

However, determining the ratio k ($\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$) shows fluctuations in rivers redox conditions. In the bottom layer Inhul and Inhulets $k_{(\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO})} > 1$, therefore the oxidation-reduction conditions can be defined as transient with a non-constant aerobic-anaerobic balance or oxidative. While in the lower reaches of the Dnipro and the Southern Bugh in the bottom layer $k_{(\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO})} < 1$, indicating the formation reducing conditions.

Definition of links between particle of different granulometric fractions of bottom sediments and iron oxides has been conducted on the basis of correlation analysis (table 3). The analysis demonstrated as multidirectional and so similar trends. For three out of four surveyed rivers determined high positive correlation coefficients between FeO and pelitic fraction. The correlating dependency, between the indicators considered, for the Dnipro and Inhul rivers looks the most natural. Instead, examined indicators for Inhulets almost do not correlate with each other.

Probably the assumption of transformation and/or disturbance of natural sediment-genesis is caused by technogenic and anthropogenic impact.

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляций между размером частиц осадка и содержанием оксидов железа

Table 3

Coupling coefficients of correlation between particle size of sediment and content of iron oxides

Iron oxides	Granulometric fractions			
	Psephite, (>2 мм)	Psammite, (2–0,1 мм)	Silts, (0,1–0,05 мм)	Pelity, (<0,05 мм)
r. Dnipro				
FeO	–0,214	–0,481	–0,118	0,931
Fe ₂ O ₃	–0,182	–0,497	–0,119	0,916
r. Inhulets				
FeO	0,254	–0,160	0,099	0,081
Fe ₂ O ₃	0,273	–0,172	0,135	0,078
r. Southern Bugh				
FeO	–0,805	–0,646	0,124	0,895
Fe ₂ O ₃	0,072	0,013	0,279	–0,065
r. Inhul				
FeO	–0,209	–0,738	0,168	0,762
Fe ₂ O ₃	–0,472	–0,669	0,060	0,762

Thus, studies have shown that there is recently being a general tendency to silting rivers, especially in their lower reaches. This leads to a shift in the natural aerobic-anaerobic balance to the reducing side, which negatively affects the hydroecosystem in general. An indicator of this process can be the ratio of iron oxides ($k_{\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}}$) with the value < 1 .

Conclusion

Have been studied the content and the ratio of oxides (Fe_2O_3 and FeO) in sediments Inhul, Inhulets, lower reaches of Dnipro and the Southern Bugh, and has determined their dependence on grain size distribution.

Investigated rivers iron oxide content varies relatively much (except Inhulets of its geochemical anomaly). The ratio of $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ reveals the presence of reducing conditions of formation of bottom sediments in the lower reaches of major rivers – the Dnipro and Southern Bugh.

The content of iron oxides has high positive correlation coefficients with pelitic fraction of sediment for all rivers except Inhulets. Determination of the concentration and the ratio (k) of iron oxides in bottom sediments is proposed to use as an indicator of abiotic environmental state of the watercourses and ponds.

References

1. Burton G. A. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*. 2002. No. 2. P.65–75.
2. Paramasivam K., Ramasamy V., Suresh G. Impact of sediment characteristics on the heavy metal concentration and their ecological risk level of surface sediments of Vaigai river, Tamilnadu, India. *Spectrochimica. Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2015. No. 137 (25). P.397–407.

3. Lider M. R. Sedimentology. Processes and products. Moscow, 1986 (in Russ.).
4. GOST 12536-79. [Methods for laboratory determination of granulometric composition]. Moscow, 1979.
5. GOST 23581.3-79. [Method for determination of bivalent iron]. Moscow, 1979 (in Russ.).
6. GOST 23581.18-81. [Method for determination of total iron]. Moscow, 1981 (in Russ.).
7. Vodniy fond Ukraini: Shtuchni vodoymi – vodoskhorischa i stavki: Dovodnic / za red. V. K. Hilchevskogo, V. V. Grebenya. Kyiv, 2014 (in Ukrainian).
8. Chekalov V. P. Pogloschenie kisloroda, kak obschiy pokazatel sootnosheniya aktivnostey microphlori okislenikh i vostanovlenikh donnikh osadkov. *Sovremennye problemy hydroecologii. Perspektivy, puty i metody: materialy III mezhdunar. konf.* Kherson, 2012. P. 259–261 (in Russ.).
9. Perelman A. I. Geokhimiya. Moscow, 1979 (in Russ.).
10. Miao Sh. Influence of sediment redox conditions on release/solubility of metals and nutrients in a Louisiana Mississippi River deltaic plain freshwater lake. *Science of The Total Environment*. 2006. Vol. 371. P. 334–343.
11. Ramírez-Pérez A. M., Blas E. de, García-Gil S. Redox processes in pore water of anoxic sediments with shallow gas. *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 538 (15). P. 317–326.
12. Alokchina T. Factori variativnosti khimicheskogo sostava donnikh osadkov r. Ingulets. *Ecological chemistry*. 2012. Vol. 21(4). P. 234–239 (in Ukrainian).

Статья поступила в редколлегию 02.02.2018
Received by editorial board 02.02.2018

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В БЛИЖНЕЙ ИК-ОБЛАСТИ ДЛЯ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ПРОИСХОЖДЕНИЯ СРУБЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ С МЕСТА НЕЗАКОННОЙ РУБКИ

А. В. БАХТИН¹⁾, А. Н. ХОХ²⁾, С. С. ПОЗНЯК³⁾

¹⁾Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
ГСП-1, Ленинские горы, 1, 119991, Москва, Россия

²⁾Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь,
ул. Филимонова, 25, 220070, Минск, Беларусь

³⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

Доказано, что деревья регистрируют все изменения, происходящие в окружающей среде, поэтому многие свойства древесины связаны с частными особенностями и характеристиками места произрастания. Однако до настоящего времени в Республике Беларусь лесо- и пиломатериалы относятся к группе товаров, установить происхождение которых не всегда представляется возможным. Перспективным методом для решения этой задачи является ближняя инфракрасная спектроскопия. В настоящем исследовании показана возможность и описаны некоторые подходы к ее применению для установления места произрастания срубленной древесины и подтверждения декларируемого пункта ее заготовки. Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований, а также указаны некоторые особенности идентификации образцов древесины этим методом. С помощью процедуры многофакторного анализа данных выявлены различия в спектрах образцов древесины, отобранных в трех различных областях Беларуси. Сделан вывод о том, что представленный спектроскопический метод достаточно чувствителен для фиксации изменений в химической структуре древесины и может быть использован для верификации легальности или доказательства происхождения срубленной древесины с места незаконной рубки.

Ключевые слова: древесина; ИК-спектроскопия в ближней области; хеометрические методы анализа; место произрастания; незаконные рубки; судебно-экологические исследования.

Образец цитирования:

Бахтин А. В., Хох А. Н., Позняк С. С. Перспективы использования молекулярной спектроскопии в ближней ИК-области для доказательства происхождения срубленной древесины с места незаконной рубки // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 30–37.

For citation:

Bakhtin A. V., Khokh A. N., Pazniak S. S. Prospects of using molecular near infrared spectroscopy for the proof of felled wood origin from the place of illegal felling. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 30–37 (in Russ.).

Автор:

Антон Вячеславович Бахтин – младший научный сотрудник.
Анна Николаевна Хох – научный сотрудник лаборатории исследования материалов, веществ и изделий.
Сергей Степанович Позняк – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заместитель директора по научной работе.

Author:

Anton V. Bakhtin, junior researcher.
anton.bakhtin@scheltec.ru
Anna N. Khokh, research associate of the laboratory for the study of materials, substances and products.
lann1hoh@gmail.com
Siarhei S. Pazniak, doctor of science (agriculture), professor; deputy director for research.
pazniak@iseu.by

PROSPECTS OF USING MOLECULAR NEAR INFRARED SPECTROSCOPY FOR THE PROOF OF FELLED WOOD ORIGIN FROM THE PLACE OF ILLEGAL FELLING

A. V. BAKHTIN^a, A. N. KHOKH^b, S. S. PAZNIAK^c

^a*Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie goryi, 1, 119991, Moscow, Russia*

^b*Scientific and Practical Centre of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus, Philimonova street, 25, 220114, Minsk, Belarus*

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

Corresponding author: anton.bakhtin@scheltec.ru

Trees record all changes occurring in the environment, therefore many properties of wood are connected with specific peculiarities and characteristics of growing location. So far, however, in Belarus wood and timber belong to the group of goods, the origin of which it is not always possible to identify. Near-infrared spectroscopy is a promising method for solution of this problem. This research shows the possibility and describes some approaches to its application for identifying of the growing location of felled wood and confirmation of the declared location of its harvesting, presents the results of the experimental research carried out, and indicates some specific features of wood identification by this method. Using the procedure of a multiple factor analysis of data, the differences in spectra of wood samples selected in three different regions of Belarus were revealed. This led to a conclusion that the presented spectroscopic method is sensitive enough for fixating of changes in chemical structure of wood and, therefore, can be used for legality verification or for the proof of felled wood origin from the place of illegal felling.

Key words: wood; near infrared spectroscopy; chemometric methods of analysis; place of growth; illegal logging; environmental forensic research.

Введение

При расследовании правонарушений, связанных с незаконным лесопользованием и нарушениями экологического законодательства, большое значение в системе доказательств приобретает древесина. Идентификация места ее произрастания – это сложная и ответственная задача, решение которой имело бы действительную практическую ценность для экспертно-криминалистических лабораторий. До настоящего времени при производстве судебно-ботанических экспертиз с помощью дендрохронологического метода устанавливается только самая широкая групповая принадлежность и констатируется нахождение исследуемых древесных пород на значительных по площади территориях. В большинстве случаев это не может в полной мере удовлетворить запросы следственной и судебной практики, поэтому перед экспертами постоянно встают задачи сужения групповой (территориальной) принадлежности, доведения ее до установления источника происхождения. Данные вопросы могут быть успешно решены с привлечением сведений о химическом составе древесины. Исследования авторов [1–3] свидетельствуют, что совокупность компонентов, из которых она состоит, как правило, зависит от состава и свойств элементного ландшафта, на котором произрастает изучаемое растение.

Однако традиционные методы (хромато-масс-спектрометрия, атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой и др.), используемые для химического анализа древесины, довольно дороги и трудоемки. Альтернативой им могут быть новые аналитические подходы, среди которых – *метод спектроскопии в ближней инфракрасной области* (NIRS). Техника NIRS имеет ряд преимуществ: неразрушающий характер измерений, скорость анализа и минимальная пробоподготовка образцов. Данный метод позволяет определять многие химические компоненты с высокой степенью точности при очень низкой стоимости.

Следует отметить, что технология NIRS уже активно используется зарубежными учеными для прогнозирования химических, физических, анатомических и механических свойств древесины [4]; распознавания древесных пород, то есть определения их видовой принадлежности [5]; дифференциации между зрелой и незрелой (ювенильной) древесиной [6] и др. Данные исследования базируются на том факте, что многие функциональные группы органических молекул древесины имеют характерные колебания, для которых свойственны полосы поглощения в определенных областях ИК-спектров, не распространяющиеся на остальные части молекулы.

В представленной работе проверялась возможность применения метода молекулярной спектроскопии в ближней ИК-области в сочетании с хемометрическими методами обработки спектров для идентификации места произрастания срубленной древесины при проведении судебно-экспертных исследований.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования нами была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.), являющаяся самой распространенной лесообразующей древесной породой в Республике Беларусь и наиболее частым предметом экологических правонарушений, в том числе и лесного законодательства.

В рамках данной работы мы предприняли попытку построить модель для идентификации места произрастания для образцов древесины сосны, отобранных в трех различных областях Беларуси (Витебской, Брестской и Гомельской). Для экспериментальных исследований использовался дендрохронологический материал с 3-х временных пробных площадей (ВПП), заложенных в 2016 г. по принятым в области лесоведения и лесной таксации методикам [7]. На каждой ВПП отбирали буровые керны с габаритными размерами (25 x 4 x 3 см) у 15 деревьев I класса Крафта (господствующих) возрастным буром «Haglof» с противоположных сторон ствола перпендикулярно продольной оси ствола дерева на высоте 1,0–1,3 м от поверхности земли.

Краткая таксационная характеристика объектов исследования представлена в таблице.

Таблица

Таксационные показатели древостоев на ВПП

Table

Taxational indicators of forest stands on TSP (temporary sample plots)

№ ВПП	Лесничество	Квартал	Тип леса	Тип условий местопроизрастания	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота
1	Якубовское	89	сосняк мшистый	A2	10С+Б	125	I	0,7
2	Лунинское	6	сосняк мшистый	A2	10С	90	I	0,7
3	Юровичское	12	сосняк мшистый	A2	A2	110	I	0,6

Поскольку образцы древесины, с точки зрения молекулярной спектроскопии, крайне неоднородны, то все измерения следует проводить в режиме диффузного отражения. Поэтому для проведения исследований мы использовали портативный БИК-спектрометр MicroNIR OnSite компании VIAVI [8]. Оптическая схема данного спектрометра построена на технологии линейного переменного фильтра – она не содержит механических и подвижных частей и не требует юстировки. Время получения одного спектра составляет 10–12 мс (рис. 1).

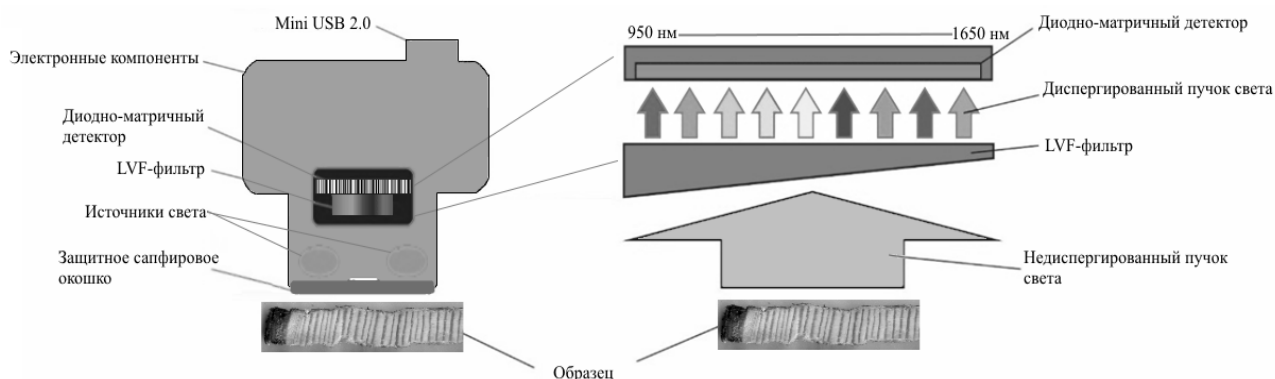


Рис. 1. Оптическая схема БИК-спектрометра MicroNIR

Fig. 1. Optical scheme of MicroNIR BIC spectrometer

Данный прибор позволяет выполнить детальное сканирование поверхности образца древесины и получить максимальное количество спектров для построения адекватной классификационной модели.

Перед непосредственным проведением измерений замеров с буровыми кернами был осуществлен ряд подготовительных операций. Вначале образцы замачивали на 10–15 мин в горячей воде. Затем ножом пистолетным с выдвижным трапециевидным лезвием в поперечном направлении срезали верхнюю часть, толщиной 1–1,5 мм. Для удобства обрезки и предотвращения разлома керны закрепляли на специальном кернодержателе. Старались добиться максимально ровной плоскости и избежать образования царапин и других изъянов на поверхности образцов. В дальнейшем керны высушивались до постоянной массы, поскольку наличие в них воды может кардинальным образом влиять на внешний вид спектров (вода имеет довольно интенсивные полосы [9] поглощения в ближней ИК-области электромагнитного излучения).

Для каждого образца древесины проводили 15 последовательных измерений. Для дальнейшего анализа полученные измерения спектров усреднялись.

Для построения классификационной модели методом главных компонент, а также для визуальной диагностики полученных данных использовали программное обеспечение The Unscrambler X компании CAMO [10], входящее в комплект поставки БИК-спектрометра MicroNIR.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 представлены необработанные спектры образцов древесины с трех исследованных ВПП. Хорошо видно, что внутри каждой серии спектров наблюдается уширение вдоль оси ординат. Это является обычным явлением для спектроскопии диффузного отражения, связанным с рассеянием света на поверхности образцов.

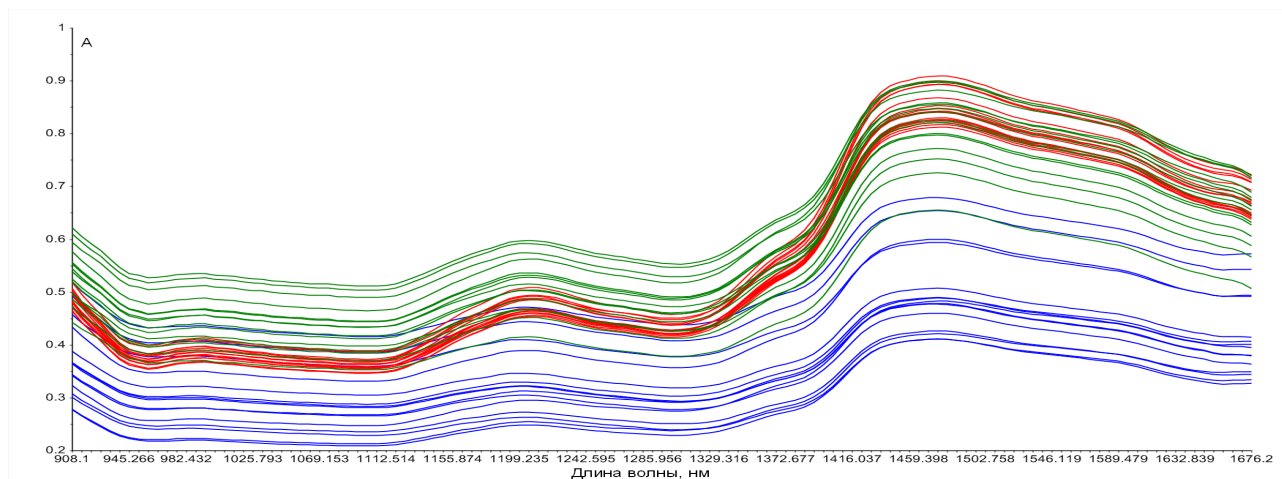


Рис. 2. Необработанные БИК-спектры трех образцов древесины

Fig. 2. Unprocessed BIC-spectra of three wood samples

Пересечения спектров между различными сериями, изображенные на рис. 2, могут усложнить построение модели. Для того чтобы избавиться от указанных проблем, необходимо выполнить коррекцию рассеяния.

В программном обеспечении The Unscrambler X Lite представлено несколько способов коррекции рассеяния на образцах, но наиболее удачным в нашем случае оказалось вычисление производных второго порядка по Савицкому–Голей (полином второго порядка, 19 сглаживающих точек; рис. 3).

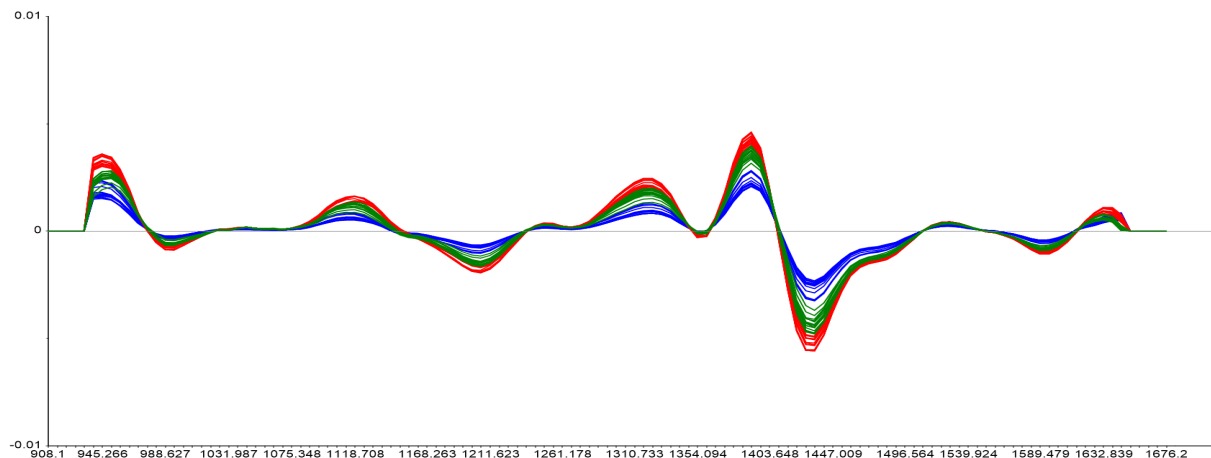


Рис. 3. Обработанные БИК-спектры трех образцов древесины (производная второго порядка)

Fig. 3. Processed BIC-spectra of three wood samples (derivative of the second order)

Сравнив внешний вид спектров, представленных на рис. 2 и 3, можно сделать вывод о том, что коррекция рассеяния оказала благоприятное влияние на наш набор данных. При этом удалось:

1. Избежать уширения между сериями спектров, в результате чего вариативность внутри каждой серии стала минимальной.
2. Избавиться от пересечения между сериями спектров: становится видимой четкая разница между сериями.

На основании скорректированных данных методом главных компонент была построена классификационная модель [11], позволяющая выявить различие между образцами. Поскольку мы обладали небольшим количеством образцов, проверить нашу модель можно с помощью метода кросс-валидации [12]. Процедура основана на том, что из общего массива данных сначала изымается один образец, затем модель перестраивается с учетом изъятых образцов. Далее, образец поставляется в модель как контрольный и вычисляется разница между его первоначальным положением в модели и положением после изъятия. Процедура повторяется для всех образцов модели. Рассмотрим диагностические характеристики построенной модели.

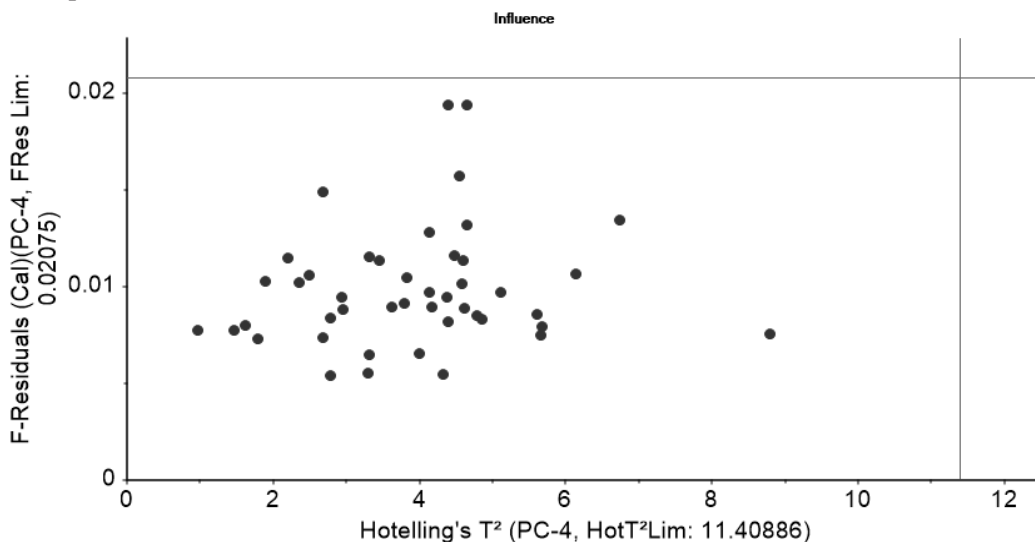


Рис. 4. График статистики Хеттеллинга (поиск грубых промахов)

Fig. 4. Hotelling statistic chart (searching crude errors)

На рис. 4 дана статистика Хеттеллинга [12], представляющая собой наглядную картину грубых промахов. Поскольку все образцы оказались в левом нижнем квадранте графика Хеттеллинга, то это означает, что модель, полученная нами, не содержит в себе грубых промахов.

На рис. 5 изображен график объясненной дисперсии. Основное назначение данного графика – определение количества полезной информации, выбранной из массива образцов для построения модели.

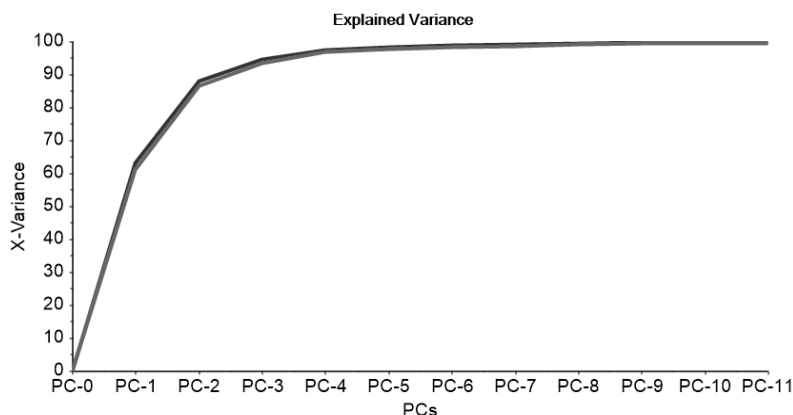


Рис. 5. График объясненной дисперсии

Fig. 5. Graph of explained Variance

Как следует из рис. 5, обе кривые, взятые как для построения, так и для проверки, асимптотически подходят значению, равному 100 %. Это означает, что для построения модели была использована вся полезная информация.

Обобщая полученные результаты, стоит отметить, что в целом все диагностические тесты пройдены успешно, и модель можно считать адекватной. На рис. 6 представлен график счетов, на котором изображена разница между образцами.

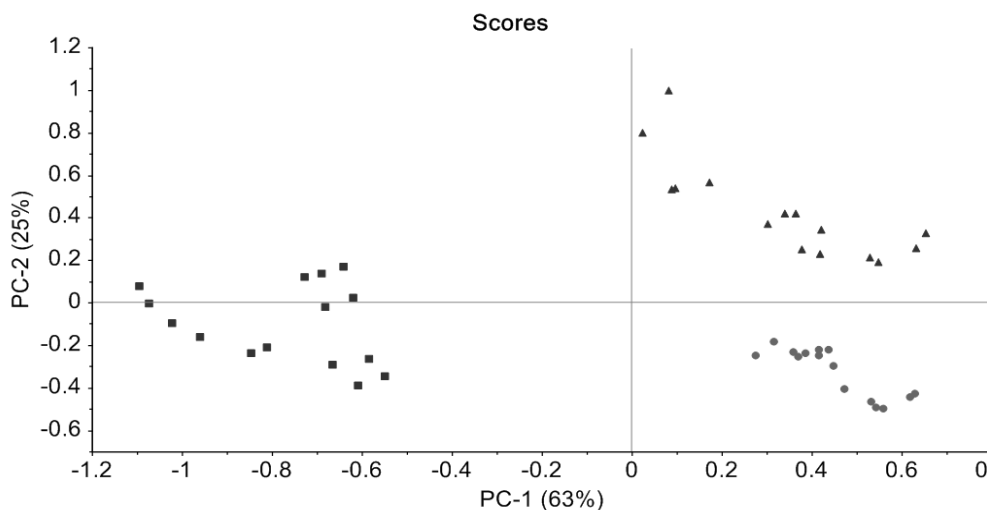


Рис. 6. График счетов

Fig. 6. Graph of scores

На графике счетов (рис. 6) отчетливо видны три группы образцов. При этом образцы с ВПП № 2 и ВПП № 3, полученные на юге Республики Беларусь, расположились в правой части графика счетов, а образцы с ВПП № 1, произрастающие на севере (Якубовское лесничество Россонского лесхоза), оказались в левой части. Кроме того, среди образцов, произрастающих на юге, также можно произвести дискриминацию – образец с номером 2 соответствует растениям, произрастающим в Лунинском лесничестве Лунинецкого лесхоза, а образец 3 – растениям, произрастающим в Юровичском лесничестве Калинковичского лесхоза.

Оценить, какие именно длины волн (в терминах многомерного анализа данных – это переменные) влияют на такой вид модели можно с помощью графика нагрузок, представленного на рис. 7. Чем дальше от центра находится точка, описывающая переменную, тем сильнее эта переменная влияет на вид модели [11].

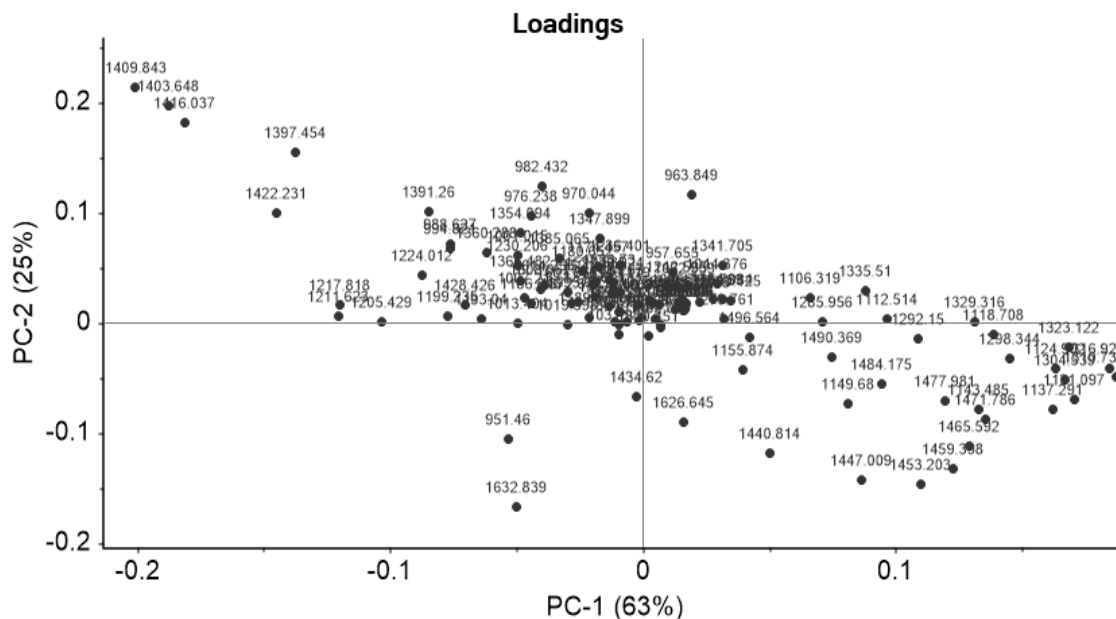


Рис. 7. График нагрузок

Fig. 7. Graph of loadings

Данный график хорошо иллюстрирует заметное влияние поглощения в областях 1403–1416 нм, 1311–1330 нм, а также 1120–1150 нм на результаты классификации образцов.

Заключение

Таким образом, благодаря неразрушающему характеру измерений, высокой скорости анализа и минимальной пробоподготовке образцов, метод молекулярной спектроскопии в ближней ИК-области может эффективно использоваться при проведении судебно-экологических экспертных исследований древесины и лесоматериалов. Основываясь на полученных результатах, можно с уверенностью констатировать, что он хорошо подходит для решения задач, связанных с установлением места произрастания древесины. Учитывая даже незначительные различия в химическом составе деревьев, NIRS оказался эффективным инструментом при разделении групп образцов древесины сосны различного географического происхождения. Таким образом, NIRS можно использовать для отслеживания происхождения древесины и для обнаружения фактов незаконных рубок на охраняемых территориях.

Однако следует учитывать, что необходимым условием для правильной интерпретации полученных результатов такого рода многомерного исследования является корректная предварительная обработка спектрометрических данных в сочетании со статистическими методами анализа многофакторных зависимостей (например, анализ главных компонент, сопоставление кластеров и проверка идентичности).

Проведенные экспериментальные работы свидетельствуют, что происхождение всех исследованных образцов древесины правильно идентифицировано. В будущем появится возможность проверять происхождение неизвестных лесоматериалов по базе данных, содержащей образцы спектров из известных районов. Она будет создана для коллекции экспериментального дендрохронологического материала, собранного в рамках реализации задания «Разработка новых подходов к исследованию объектов растительного происхождения при проведении судебно-экспертных исследований» по Государственной программе научных исследований «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Научное обеспечение защиты от чрезвычайных ситуаций и судебно-экспертной деятельности».

В дальнейшем мы планируем значительно улучшить классификационные модели, добавляя новые образцы, оперируя различными способами коррекции рассеяния. Кроме того, отметим, что метод молекулярной спектроскопии в ближней ИК-области, помимо использования в судебно-экспертной практике, открывает новые возможности для научных исследований, связанных с оценкой воздействия на свойства древесины локальных флуктуаций климата, почвенно-грунтовых условий, особенностей рельефа, уровня грунтовых вод, лесохозяйственной деятельности, вредителей и болезней, а также многих других экологических факторов.

Библиографические ссылки

1. Ibach R. E., Clemons C. M., Chen G. C. The use of new, aqueous chemical wood modifications to improve the durability of wood-plastic composites // Forty-eighth Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection, 2017 June 4–8. Ghent, 2017. P. 1–9.
2. Fernandes C., Gaspar M. J., Pires J., et al. Physical, chemical and mechanical properties of *Pinus sylvestris* wood at five sites in Portugal // *iForest-Biogeosciences and Forestry*. 2017. Vol. 10, № 4. P. 669.
3. Mattos B. D., Lourencon T. V., Galto D. A. et al. Chemical characterization of wood and extractives of fast-growing *Schizolobium parahyba* and *Pinus taeda* // *Wood Material Science & Engineering*. 2016. Vol. 11, № 4. P. 209–216.
4. Tsuchikawa S. A review of recent near infrared research for wood and paper // *Applied Spectroscopy Reviews*. 2007. Vol. 42, № 1. P. 43–71.
5. Brunner M., Eugster R., Trenka E., et al. FT-NIR spectroscopy and wood identification // *Holzforschung*. 1996. Vol. 50, № 2. P. 130–134.
6. Gierlinger N., Schwanninger M., Wimmer R. Characteristics and classification of Fourier-transform near infrared spectra of the heartwood of different larch species (*Larix* sp.) // *J. of Near Infrared Spectroscopy*. 2004. Vol. 12, № 2. P. 113–119.
7. Шевелев С. Л., Кузмичев В. В. Таксация леса. Красноярск, 2003.
8. O'Brien N. A., Hulse C. A., Friedrich D. M., et al. Miniature Near-Infrared (NIR) Spectrometer Engine For Handheld Applications. Baltimore : Next-Generation Spectroscopic Technologies V, Proc. of SPIE, 2012. Vol. 8374.
9. Burns D. A., Ciurczak E. W. Handbook of Near-Infrared Analysis / Boca Raton : CRC Press, 2007.
10. Kessler W., Kessler W. A Handy Tool for Chemometrics: The Unscrambler X // *Scientific Computing*. 2010. Vol. 27, issue. 4. P. 13.
11. Cross R. Principal Component Analysis Handbook. NJ : Clanrye International, 2015.
12. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. Черноголовка: ИПХФ РАН, 2005.

References

1. Ibach R. E., Clemons C. M., Chen G. C. The use of new, aqueous chemical wood modifications to improve the durability of wood-plastic composites. *Forty-eighth Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection*, 2017 June 4–8. Ghet, 2017. P. 1–9.
2. Fernandes C., Gaspar M. J., Pires J., et al. Physical, chemical and mechanical properties of *Pinus sylvestris* wood at five sites in Portugal. *iForest-Biogeosciences and Forestry*. 2017. Vol. 10, No. 4. P. 669.
3. Mattos B. D., Lourencon T. V., Galto D. A. et al. Chemical characterization of wood and extractives of fast-growing *Schizolobium parahyba* and *Pinus taeda*. *Wood Material Science & Engineering*. 2016. Vol. 11, No. 4. P. 209–216.
4. Tsuchikawa S. A review of recent near infrared research for wood and paper. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2007. Vol. 42, No. 1. P. 43–71.
5. Brunner M., Eugster R., Trenka E., et al. FT-NIR spectroscopy and wood identification. *Holzforschung*. 1996. Vol. 50, No. 2. P. 130–134.
6. Gierlinger N., Schwanninger M., Wimmer R. Characteristics and classification of Fourier-transform near infrared spectra of the heartwood of different larch species (*Larix* sp.). *J. of Near Infrared Spectroscopy*. 2004. Vol. 12, No. 2. P. 113–119.
7. Shevelev S. L., Kuzmichev V. V. Taksatsiya lesa [Forest Inventory]. Krasnoyarsk; 2003 (in Russ.).
8. O'Brien N. A., Hulse C. A., Friedrich D. M., et al. Miniature Near-Infrared (NIR) Spectrometer Engine For Handheld Applications. Proc. SPIE 2012; 8374: 837404.
9. Burns D. A., Ciurczak E. W. Handbook of Near-Infrared Analysis. Boca Raton, 2007.
10. Kessler W., Kessler W. A Handy Tool for Chemometrics: The Unscrambler X. *Scientific Computing*. 2010. Vol. 27, issue. 4.
11. Cross R. Principal Component Analysis Handbook. NJ, 2015.
12. Esbensen K. Analiz mnogomernykh dannykh [Multivariate Data Analysis]. Chernogolovka: IPKhF RAN, 2005 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 01.02.2018
Received by editorial board 01.02.2018

УДК 581.5; 57.084.2; 575.224.46

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ПЕРМАНЕНТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

В. Ф. КОВАЛЕВ¹⁾, Н. В. ГОНЧАРОВА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет

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

Представлены результаты многолетних (2005–2015 гг.) наблюдений за состоянием семенного потомства в популяциях сосны обыкновенной лесхозов Гомельской области. Изучалось влияние климатических факторов на формирование семенного материала сосны обыкновенной в условиях перманентного радиационного воздействия. Установлено, что погодные условия оказывают гораздо большее влияние на качество семенного потомства, чем радиационное воздействие, а формирующиеся в условиях хронического облучения семена характеризуются высоким уровнем межгодовой изменчивости показателей жизнеспособности в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: радиоустойчивость; сосна обыкновенная; Чернобыльская АЭС; хроническое облучение; Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ); загрязнение; поглощенные дозы; репродуктивные качества; температура; влажность.

THE CLIMATE FACTORS IMPACT ON PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEEDS IN THE CONDITIONS OF PERMANENT IRRADIATION EXPOSURE

V. F. KOVALEV^a, N. V. GONCHAROVA^a

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

Corresponding author: goncharova@iseu.by

The results are presented long-term (2005–2015) observations of the seed progeny condition of the Scots pine populations in the Gomel region. The purpose of the work is to study the influence of climatic factors on Scots pine seed material formation under permanent radiation exposure. It found that weather conditions exert a much higher impact on the quality of seed progeny than radiation exposure, and the seeds formed under conditions of chronic irradiation characterized by a high level of interannual variability of viability indicators in the remote period after the Chernobyl accident.

Key words: radioresistance; Scots pine; Chernobyl NPP; chronic irradiation; Polesye State Radiation Ecological Reserve; pollution; absorbed doses; reproductive qualities; temperature; humidity.

Образец цитирования:

Ковалев В. Ф., Гончарова Н. В. Влияние климатических факторов на формирование семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях перманентного облучения // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 38–47.

For citation:

Kovalev V. F., Goncharova N. G. The climate factors impact on pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds in the conditions of permanent irradiation exposure. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 38–47 (in Russ.).

Автор:

Валерий Федорович Ковалев – младший научный сотрудник; научно-исследовательский сектор.

Надежда Вячеславовна Гончарова – кандидат биологических наук, доцент; профессор кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

Author:

Valery F. Kovalev, junior researcher; research sector.
letuciennik@gmail.com

Nadezhda V. Goncharova, PhD (biology), associate professor; professor of the department of environmental monitoring and management.
goncharova@iseu.by

Введение

Наиболее уязвимыми компонентами биосферы по отношению к воздействию ионизирующего излучения являются лесные экосистемы. Высокая радиочувствительность древесных растений (особенно хвойных), их повышенная способность задерживать поступающие из атмосферы радионуклиды и медленно самоочищаться от них обуславливают роль хвойных в перераспределении радионуклидов в природе [1; 2].

Загрязнение лесных фитоценозов радионуклидами оказывает существенное влияние на человека. Недостаточное изучение отдаленных последствий хронического радиационного воздействия на популяции растений и животных делают актуальным исследование механизмов адаптации основных лесообразующих пород к меняющимся условиям окружающей среды [1]. Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что хроническое техногенное воздействие даже в низких дозах радиационного облучения способно влиять на репродуктивную способность растительных и животных организмов [2–6].

В ходе наблюдения (2005, 2010, 2015 гг.) было установлено, что в условиях перманентного радиационного воздействия в фитоценозах сосны обыкновенной формируется семенное потомство с высоким уровнем изменчивости, а генетическая дифференциация популяций в значительной степени обусловлена радиационным воздействием.

Ионизирующее излучение оказывало значительное влияние на репродуктивные качества *Pinus sylvestris* L. в первые годы после аварии на Чернобыльской АЭС [7–11]. Современное состояние чернобыльской зоны в сочетаниями с другими экологическими факторами, в том числе с изменением климатических условий, может по-иному определять качество семян в период их формирования [12;13].

Цель исследования – изучение влияния климатических факторов на формирование семенного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях перманентного радиационного воздействия на территории Гомельской обл.

Материалы и методы исследования

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – основной лесообразующий вид, произрастающий в разнообразных физико-географических и экологических условиях. Для сосны характерна высокая чувствительность к химическому и радиационному воздействию [14]. Помимо высокой радиочувствительности, сосну обыкновенную отличает длительный генеративный цикл – от момента закладки репродуктивных органов до созревания семян проходит 2 года [15; 16]. В условиях хронического воздействия радиационного фактора столь длительный цикл развития ведет к накоплению в семенах достаточного для индикации внешнего воздействия количества повреждений. Существенное влияние на качество формирующихся семян могут оказывать погодные условия [17; 18]. Обширный ареал и высокая радиочувствительность обусловили выбор сосны в качестве биологического объекта, на котором базируется современная концепция радиационной защиты окружающей среды [19–22].

Исследование проводили на территории Гомельской обл. в Наровлянском и Ветковском лесхозах и в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПРГЭЗ), характеризующихся наибольшими уровнями радиоактивного загрязнения в результате Чернобыльской аварии (рис.). Было выбрано 4 экспериментальных участка (ППН), контрастных по уровню радиоактивного загрязнения, и 1 контрольный (К). Мощность дозы на участках варьировала от 0,37 до 1,21 мкГр/час.

На контрольном участке мощность дозы – 0,10 мкГр/час. Участки наблюдения в фитоценозах сосны обыкновенной выбирались таким образом, чтобы обеспечить равномерный шаг по мощности экспозиционной дозы в местах их произрастания.

Мощность экспозиционной дозы измеряли дозиметром «Белрад-04» (УП «АТОМТЕХ», Беларусь) на высоте 1 м от поверхности земли по 5–7 измерений под каждым деревом, с которого собирали шишки. С учетом переводного коэффициента $1 \text{ Р} = 8,76 \times 10^{-3} \text{ Гр}$ [23; 24] определяли мощность поглощенной в воздухе дозы γ -излучения, которая на загрязненных радионуклидами участках менялась в пределах 0,20–1,90 мкГр/ч.

Характеристика погодных условий на экспериментальных участках. Климат исследуемой территории умеренно континентальный, с теплым летом и мягкой зимой. Средняя температура января – минус 5–6°C, июля – плюс 18–19°C. Годовое количество осадков колеблется в пределах 550–650 мм. В области один из самых продолжительных в стране вегетационных периодов (191–209 дней). Использовали данные двух метеостанций, расположенных в населенных пунктах Мозырь (52.00°с. ш., 29.20°в. д.) и Гомель (52.40°с. ш., 31.00°в. д.) [2].

Радиационная обстановка на территории Гомельской области

Карта-схема загрязнения территории цезием-137



Рис. Карта-схема расположения экспериментальных участков

Fig. Map of the experimental sites location

По результатам метеорологических наблюдений были рассчитаны средняя ($T_{\text{сут}}$) и эффективная ($T_{\text{эф}} = T_{\text{сут}} - 5^\circ\text{C}$) температура, сумма осадков, средняя влажность воздуха за критические периоды развития семян, а также за 2 года (период формирования семян). Гидротермический коэффициент (ГТК) [12] определяли для каждого периода наблюдений по формуле [26]:

$$\text{ГТК} = \frac{P \times n}{\sum T_{\text{эф}}},$$

где P – сумма осадков при эффективных температурах за изучаемый период, n – количество дней в изучаемом периоде, $\sum T_{\text{эф}}$ – сумма эффективных температур за тот же период. Дни со среднесуточной температурой ниже 5°C в расчетах не учитывали.

Отбор проб. Образцы почвы на каждом участке отбирали по слоям 0–5 см, 5–10 см, 10–15 см под деревом, где была зафиксирована максимальная на участке мощность дозы. Почву высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с размером отверстий 1 мм.

Шишки собирали с деревьев 30–50-летнего возраста в конце ноября–начале декабря 2005–2015 гг. На каждом участке шишки собирали с 20–29 деревьев в пределах гомогенного древостоя по 20–50 шишек с каждого дерева. Для созревания и стратификации шишки выдерживали вне помещения до конца февраля. Затем их доставляли в лабораторию и хранили при комнатной температуре и низкой влажности до раскрытия и высыпания семян, которые обескрывали вручную [12].

Содержание ^{137}Cs и ^{40}K в пробах почвы определяли методом γ -спектрометрии на многоканальном анализаторе IN 1200 (Франция) с германиевым детектором GEM 1200 (США).

Для оценки содержания радионуклидов по одной случайно отобранной шишке с каждого дерева на экспериментальном участке объединяли в одну пробу. Содержание ^{137}Cs в шишках определяли методом γ -спектрометрии [29].

Оценка репродуктивного потенциала. Визуально определяли число нормальных и абортивных (недоразвитые, пустые, сухие) семян (урожай 2005–2015 гг.). При проращивании семян урожая 2005–2015 гг. оценивали их всхожесть (процент нормально развитых проростков на 20-й день). Эксперимент проводили в четырех повторностях, по 50 семян в каждой.

Статистический анализ экспериментальных данных. Данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием Microsoft Excel 2013 и Statistica 8. Для оптимизации объема выборки применяли методику статистического анализа эмпирических распределений [25]. Экспериментальные данные были проверены на наличие значений, выходящих за пределы 95 %-ного доверительного интервала, которые исключали из дальнейшего рассмотрения. Статистическую значимость отличий оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента. Для выявления зависимости показателей качества семян от метеорологических факторов в критические периоды их формирования (май первого года, август второго года и период формирования семян в целом) использовали корреляционный и регрессионный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Радиоактивное загрязнение экспериментальных участков и поглощенные генеративными органами сосны дозы. Основной вклад в радиоактивное загрязнение экспериментальных участков вносит ^{137}Cs – ведущий дозообразующий радионуклид. Период полураспада ^{137}Cs составляет 30 лет, радиоактивное загрязнение участков за 10 лет исследования изменилось незначительно. В табл. 1 представлены данные о радиоактивном загрязнении участков за один конкретный (2010) год. Содержание ^{137}Cs в верхнем 5 см слое почвы экспериментальных участков изменяется в диапазоне 1670–87750 Бк/кг, в 20–1540 раз превышая удельную активность ^{137}Cs на контрольных участках. Удельная активность ^{137}Cs в почвах контроля К (ПГРЭЗ), К1 (Наровля) и К2 (Ветка) различается в 2–4 раза, колебания эти обусловлены характерными для региона неравномерными глобальными выпадениями ^{137}Cs [16]. Концентрация естественного радионуклида ^{40}K в 15-сантиметровом слое почвы контрольных участков в 2–10 раз превышает концентрацию ^{137}Cs (табл. 1), а удельная активность наименее загрязненного радионуклидами среди участков наблюдения в 10–18 раз выше, чем на контрольных участках.

Таблица 1

Активность радионуклидов в почвах экспериментальных участков и шишках

Table 1

Radionuclides activity in soils of experimental sites and cones

Вариант	Глубина, см	Радионуклиды в почве, Бк/кг		Радионуклиды в шишках, Бк/кг
		^{137}Cs	^{40}K	^{137}Cs
Контроль*	0–5	170±15,8	275±3,8	10,3±2,1
	5–10	128±12,2	271±3,2	
	10–15	52,6±5,6	310±2,4	
ПГРЭЗ	0–5	87750±8721	383±173	1008±18
	5–10	42400±5173	258±49	
	10–15	29700±623	253±47	
Контроль 1*	0–5	75,2 ± 7,6	520±72	27±3,7
	5–10	41,7± 2,6	540±89	
	10–15	40,5 ± 4,1	557±56	
Наровля	0–5	1670±134	210±42	948±13
	5–10	3925±302	404±84	
	10–15	1813±210	307±65	
Контроль 2*	0–5	87,3 ± 7,6	620±52	24±1,7
	5–10	52,7± 3,4	583±88	
	10–15	49,8 ± 8,9	604±46	
Ветка	0–5	39357±3935		1246±32
	5–10	39512±3822		
	10–15	38784±3245		

*К, К1 и К2 соответственно ($p < 0,05$).

Содержание радионуклидов в шишках деревьев с загрязненных радионуклидами участков статистически значимо ($P < 0,05$) превышает этот параметр для контрольных популяций. Результаты расчета поглощенных в генеративных органах сосны доз приведены в табл. 2.

Таблица 2

Дозовая нагрузка на генеративные органы сосны на участках наблюдения (мГр/год)

Table 2

Loading dose on generative pine organs on observation sites (mGy/year)

Вариант	ПГРЭЗ	Наровлянский лесхоз	Ветковский лесхоз
Контроль	0,144	0,126	0,139
ППН 1	7,62	0,348	6,95*
ППН 2	25,7	0,159	22,8*
ППН 3	94,2	1,20	91,2*
ППН 4	130,4	0,509	129,9*

*различие с контролем ($p < 0,05$).

Основной вклад в формирование дозы на генеративные органы сосны вносит содержащийся в верхнем 10-сантиметровом слое почвы ^{137}Cs .

Влияние радиоактивного загрязнения и погодных условий на качество семян. Результаты, представленные в табл. 3, свидетельствуют о широкой вариабельности качества семян: процент abortивных семян на загрязненных участках как превышал контрольный уровень, так и был ниже контроля. Не удалось установить зависимость показателя всхожести семян от дозы радиационного воздействия ($p > 5\%$). Таким образом, качество семенного потомства экспериментальных популяций на протяжении всех лет исследования характеризовалось высокой межгодовой изменчивостью и не демонстрировало связи с уровнем радиоактивного загрязнения участков или поглощенной в генеративных органах сосны дозой.

Таблица 3

Показатели качества семян сосны обыкновенной

Table 3

Indicators of Scots pine seeds quality

Вариант	Год	Всего семян	Абортивных, %	Всхожесть семян, %
Контроль*	2005	4324	0,14±0,02	55,7±2,6
	2010	3485	0,24±0,03	41,0±3,2
	2015	4911	0,34±0,02	48,5±3,3
ПГРЭЗ	2005	6316	0,45±0,03	84,6±1,2
	2010	6027	0,29±0,03	79,7±1,7
	2015	6911	0,38±0,05	62,3±2,7
Контроль 1*	2005	4558	0,36±0,03	24,6±2,1
	2010	5314	0,48±0,03	28,0±2,1
	2015	4401	0,42±0,02	35,3±2,0
Наровля	2005	4316	0,29±0,06	55,7±2,6
	2010	4127	0,36±0,04	41,0±3,2
	2015	5911	0,39±0,02	48,5±3,3
Контроль 2*	2005	5366	0,41±0,03	74,1±2,9
	2010	5027	0,36±0,02	51,9±2,6
	2015	5911	0,43±0,03	72,4±2,0
Ветка	2005	7316	0,32±0,03	73,7±1,8
	2010	6527	0,38±0,03	65,2±3,1
	2015	6910	0,41±0,03	45,4±2,9

*К, К1 и К2 соответственно ($p < 0,05$).

Погодный фактор среды был выбран как один из факторов, оказывающий существенное влияние на изучаемые параметры, так как не было выявлено связи абортивных семян и всхожести с поглощенной в генеративных органах растений дозой. Следует отметить, что загрязнение участков тяжелыми металлами не превышает допустимых уровней [15; 22].

Значимое влияние на качество формирующихся семян оказывают температура и осадки [17; 18]. Для некоторых экспериментальных площадей были обнаружены (табл. 4) статистически значимые корреляции показателей качества семян с влажностью воздуха и эффективной температурой.

Таблица 4

Статистически значимые корреляции показателей качества семян
с погодными условиями в местах произрастания сосны обыкновенной ($p < 0,05$)

Table 4

Statistically significant indicators of correlations of seed quality
with weather conditions in the areas of parent plants growth

Вариант	Всхожесть			Доля абортивных семян	
	Сумма эффективных температур	Средняя влажность	Сумма осадков	Сумма эффективных температур	ГТК _{ср}
2 года					
ПГРЭЗ			0,95		
Контроль 1*				0,9	
Наровля					0,92
Ветка		-0,86			
Август					
ПГРЭЗ	-1,00				
Контроль 1*	-1,00				
Контроль 2*	-0,97				

*К1 и К2 соответственно ($p < 0,05$).

При изучении погодных условий за весь период созревания семян, повышенная влажность воздуха ведет к увеличению всхожести семян с участков ПГРЭЗ, а на участке Ветка увеличение количества осадков снижает всхожесть семян. На контрольном участке с ростом эффективных температур увеличивается доля абортивных семян, а на контрольных участках Наровлянского (контроль 1) и Ветковского (контроль 2) лесхозов. На наиболее загрязненном радионуклидами (ПГРЭЗ) участке увеличение суммы эффективных температур ведет к снижению всхожести семян в августе 2005 г. Погодные условия мая (2005–2015 гг.) не оказали статистически значимого влияния на изучаемые показатели. При объединении данных по всем популяциям в одну выборку и рассмотрении влияния метеоусловий на исследуемые показатели, независимо от места произрастания растений, наблюдается снижение всхожести семян с ростом эффективных температур.

Возможная модификация хроническим облучением эффекта метеорологических факторов – актуальный вопрос при изучении формирования семян сосны обыкновенной в условиях перманентного воздействия радиационного фактора. Для выявления возможных зависимостей была использована регрессионная модель [12]:

$$Z = a + bX + cY + dXY,$$

где Z – зависимая переменная (доля абортивных семян или всхожесть); X – метеорологический фактор (эффективная температура, влажность воздуха, осадки); Y – поглощенная в генеративных органах сосны доза; a – свободный член, b , c , d – численные коэффициенты.

Таблица 5

Регрессионный анализ влияния погодных условий и хронического облучения в местах произрастания на показатели качества семян сосны обыкновенной (объединенная выборка)

Table 5

Regression analysis of the weather conditions impact and chronic irradiation in the areas growth on the Scots pine quality indicators (combined sample)

Зависимая переменная	Независимая переменная	β-коэффициент	Уровень значимости	R²
2005–2006				
% абортивных семян	ΣТэф, °С	0,64 ± 0,19	0,017	0,25
Май (2005)				
% абортивных семян	Dose, мкгр/ч	–16,5±6,75	0,032	0,28
	W × Dose	19,02±8,01	0,035	
Всхожесть	Dose, мкгр/ч	19,75±7,5	0,011	0,37
	W, %	0,87±0,4	0,014	
	W × Dose	–22,02±7,9	0,013	
Август (2006)				
% абортивных семян	ΣР, мм	0,8±0,31	0,021	0,19
Всхожесть	ΣТэф, °С	–0,1±0,19	0,003	0,63

Примечание. $T_{эф}$ – эффективная температура, Dose – доза, W – влажность воздуха, P – осадки.

Представленные в табл. 5 данные (значимые коэффициенты) подтвердили результаты корреляционного анализа. Повышенные температуры в течение всего периода развития семян и осадки в августе 2006 г. увеличивают долю абортивных семян, а повышенные температуры снижают всхожесть. Также выявлено совместное влияние влажности воздуха и хронического облучения, способного увеличивать долю абортивных семян и снижать всхожесть. Регрессионный анализ позволил установить усиление влияния хронического облучения низкой мощностью дозы на репродуктивные способности сосны обыкновенной в особенно чувствительные периоды развития семян (май и август).

Заключение

Таким образом, радиационная нагрузка на лесные фитоценозы существенно снижается в результате радиоактивного распада в перспективе времени после радиационных аварий, при этом на первый план по силе влияния выходят другие факторы, среди которых погодные условия в период формирования семян. Снижение числа оплодотворенных семян и увеличение числа пустых семян определяет холодная и дождливая погода в период опыления сосны [5]. Аналогично влияние оказывает температурный режим и в период созревания семян [18]. Сформированный отбором на эмбриональном этапе семенной генофонд несет информацию о региональных условиях (температура, влажность, тип почвы, техногенное загрязнение) и особенностях погодных условий двух последних лет [30–32].

В ходе исследования развития семян сосны обыкновенной в 2005–2015 гг. установлено, что повышенные температуры на протяжении всего периода формирования семян ведут к уменьшению их всхожести. Высокие температуры в период опыления способствуют увеличению всхожести семян (табл. 5). Доля абортивных семян увеличивается с ростом температур за весь период формирования семян. В нашем исследовании было установлено, что в изученном диапазоне мощностей доз хроническое радиационное воздействие способно модифицировать влияние погодных факторов на развитие семенного потомства.

Важнейшим и одновременно одним из наиболее чувствительных к радиационному воздействию [33] показателем, определяющим развитие популяции в условиях стресса, является репродуктивная способность организма. Снижение репродуктивной способности было зафиксировано [10; 11] в популяциях сосны обыкновенной, получивших дозы более 1 Гр в 1986 г. в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС.

Спустя 28 лет после аварии пониженная репродуктивная способность сохранилась в популяциях сосны, получивших в 1986 г. дозы более 10 Гр [11]. В нашем исследовании не было обнаружено (табл. 3) устойчивой связи качества семенного потомства с уровнем радиоактивного загрязнения участков или поглощенной в генеративных органах сосны дозой. Таким образом, статистически значимая и устойчиво воспроизводившаяся в течение всех лет исследования (2005–2015 гг.) повышенная частота нарушений в населяющих загрязненные радионуклидами участки популяциях сосны обыкновенной не оказала существенного влияния на ее репродуктивную способность. Погодные условия оказывают гораздо большее влияние на качество семенного потомства, чем радиационное воздействие, а формирующееся в условиях хронического облучения семени характеризуется высоким уровнем межгодовой изменчивости показателей жизнеспособности в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Библиографические ссылки

1. Дмитриев А. П., Гродзинский Д. М., Гуца И. И. и др. Влияние хронического облучения на устойчивость растений к биотическому стрессу в 30-километровой зоне отчуждения Чернобыльской АЭС // Физиология растений. 2011. Т. 58, № 6. С. 922–929.
2. Micieta K., Murin G. Adaptation to the environmental stress as a result of a long-term mutagenesis in plants // Mutagenesis: exploring novel genes and pathways / Eds. N. B. Tomleкова, M. I. Kozgar and M. R. Wani. Wageningen Academic Pbl., 2014. P. 379–404.
3. Peterson C. H., Rice S. D., Short J. W., et al. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill // Science. 2003. Vol. 302. P. 2082–2086.
4. Geras'kin S., Evseeva T., Oudalova A. Effects of long term chronic exposure to radionuclides in plant populations // J. Environ. Radioact. 2013. Vol. 121. P. 22–32.
5. Geras'kin S. A., Oudalova A. A., Dikareva N. S., et al. Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident // Ecotoxicol. 2011. Vol. 20. P. 1195–1208.
6. Geras'kin S. A., Volkova P. Yu. Genetic diversity in Scots pine populations along a radiation exposure gradient // Sci. Total Environ. 2014. Vol. 496. P. 317–327.
7. Кальченко В. А., Спирин Д. А. Генетические эффекты в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих в условиях хронического облучения малыми дозами // Генетика. 1989. Т. 25, № 6. С. 1059–1064.
8. Ипатъев В. А., Багинский В. Ф., Булавик И. М. и др. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: Состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. Минск, 1999.
9. Федотов И. С., Кальченко В. А., Игонина Е. В. и др. Радиационно-генетические последствия облучения популяции сосны обыкновенной в зоне аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2006. Т. 46, вып. 3. С. 268–278.
10. Антонова Е. В., Каримуллина Э. М., Позолотина В. Н. Внутривидовая изменчивость дремы белой в градиенте радионуклидного загрязнения ВУРСа // Экология. 2013. № 1. С. 20–29.
11. Антонова Е. В., Позолотина В. Н., Каримуллина Э. М. Изменчивость семенного потомства костреца безостого в условиях хронического облучения зоны Восточно-уральского радиоактивного следа // Экология. 2014. № 6. С. 459–468.
12. Гераскин С. А., Васильев Д. В., Кузьменков А. Г. Особенности формирования семян сосны обыкновенной в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55, № 5. С. 539–547.
13. Буторина А. К., Калаев В. Н., Миронов А. Н. Цитогенетическая изменчивость в популяциях сосны обыкновенной // Экология. 2001. № 3. С. 198–209.
14. Moor F. C., Lollé D. V. Adaptation potential of European agriculture in response to climate change // Nature Climate Change. 2014. № 4 (7). P. 610–614.
15. Гончарова Н. В., Ковалев В. Ф. Оценка поглощенных доз в генеративных органах популяции сосны обыкновенной в Наровлянском и Ветковском лесхозах // Радиобиология: антропогенные излучения: материалы Междунар. науч. конф., г. Гомель, 25–26 сент. 2014 г. Минск, 2014. С. 92–94.
16. Гончарова Н. В., Ковалев В. Ф. Формирование семян сосны обыкновенной *Pinus silvestris* в условиях хронического облучения // Экологический вестник. 2017. №1 (39). С. 48–52.
17. Sparrow A. H. Research uses of the gamma field and related radiation facilities at Brook haven National laboratory // Radiat. Bot. 1966. Vol. 6. P. 377–405.
18. Карабань Р. Т., Мишенков Н. Н., Пристер Б. С. и др. Эффекты острого гамма-облучения на лесные биогеоценозы // Проблемы лесной радиоэкологии: Труды ИПГ. Вып. 38. Гидрометеиздат, 1979. С. 27–52.
19. Носкова Н. Е., Третьякова И. Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23, вып. 1. С. 54–63.
20. Кузнецова Н. Ф. Влияние климатических условий на проявление признака самофертильности у сосны обыкновенной // Экология. 2009. Т. 40, № 5. С. 390–395.
21. Козубов Г. М., Таскаев А. И. Радиобиологические и радиоэкологические исследования древесных растений. СПб., 1994.
22. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // Ann. ICRP. 2009. Vol. 38, № 4–6. P. 1–242.
23. Воробейчик Е. Л., Козлов М. В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. 2012. № 2. С. 83–91.
24. Гераскин С. А., Дикарева Н. С., Удалова А. А. и др. Цитогенетические эффекты в популяциях сосны обыкновенной из районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48, вып. 5. С. 584–595.
25. Машиков В. П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений. М., 2013.

26. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 169–178.
27. Гераськин С. А., Фесенко С. В., Черняева Л. Г. и др. Статистические методы анализа эмпирических распределений коэффициентов накопления радионуклидов растениями // Сельскохозяйственная биология. 1994. № 1. С. 130–137.
28. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь). Москва–Минск, 2009.
29. Спиридонов С. И., Фесенко С. В., Гераськин С. А. и др. Оценка доз облучения древесных растений в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48, вып. 4. С. 432–438.
30. Гордиенко М. И., Гордиенко Н. М., Леонтьев Г. П. Влияние температуры воздуха и количества осадков на массу и всхожесть семян сосны // Повышение продуктивности лесов и эффективность защитного лесоразведения. Киев, 1985. С. 45–54.
31. Евсеева Т. И., Гераськин С. А., Белых Е. С. и др. Оценка репродуктивной способности *Pinus sylvestris*, произрастающей в условиях хронического воздействия радионуклидов уранового и ториевого рядов // Экология. 2011. № 5. С. 355–360.
32. Скок А. В., Глазун И. Н., Самошкин Е. Н. Влияние радиоактивного загрязнения сосны обыкновенной на жизнеспособность и аномалии пыльцы в Брянском округе зоны широколиственных лесов // Лесной журн. 2005. № 5. С. 7–11.
33. Позолотина В. Н., Антонова Е. В., Каримуллина Э. М. и др. Последствия хронического действия радиации для флоры Восточно-уральского радиоактивного следа // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49, № 1. С. 97–106.

References

1. Dmitriev A. P., Grodzinsky D. M., Guscha I. I., et al. [Chronic irradiation impact on the resistance of plants to biotic stress in the 30-kilometer zone of alienation of the Chernobyl nuclear power plant]. *Physiology of plants*. 2011. Vol. 58, No. 6. P. 922–929 (in Russ.).
2. Miciceta K., Murin G. Adaptation to the environmental stress because of a long-term mutagenesis in plants // Mutagenesis: exploring novel genes and pathways / Eds N. B. Tomlekova, M. I. Kozgar and M. R. Wani. Wageningen Academic Publ., 2014. P. 379–404.
3. Peterson C. H., Rice S. D., Short J. W. et al. Long-term is the reaction to the Exxon Valdez oil spill. *Science*. 2003. Vol. 302. P. 2082–2086.
4. Geras'kin S., Evseeva T., Oudalova A. Effects of long term, chronic exposure to radionuclides in plant populations. *J. Environ. Radioact.* 2013. Vol. 121. P. 22–32.
5. Geras'kin S. A., Oudalova A. A., Dikareva N. S., et al. Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident. *Ecotoxicol.* 2011. Vol. 20. P. 1195–1208.
6. Geras'kin S. A., Volkova P. Yu. Genetic diversity in Scots pine populations along a radiation exposure gradient. *Sci. Total Environ.* 2014. Vol. 496. P. 317–327.
7. Kalchenko V. A., Spirin D. A. [Genetic effects in populations of Scots pine growing in conditions of chronic exposure to small doses]. *Genetics*. 1989. Vol. 25, No. 6. P. 1059–1064.
8. Ipatiev V. A., Baginsky V. F., Bulavik I. M., et al. [Forest. Human. Chernobyl. Forest ecosystems after the Chernobyl disaster: Status, prognosis, population response, rehabilitation pathways]. Minsk, 1999 (in Russ.).
9. Fedotov I. S., Kalchenko V. A., Igonina E. V., et al. [Radiation-genetic consequences of irradiation of the Scots pine population in the Chernobyl accident zone]. *Radiats. Biology. Radioecology*. 2006. Vol. 46, issue 3. P. 268–278 (in Russ.).
10. Antonova E. V., Karimullina E. M., Pozolotina V. N. [Intraspecific variability of white slime in the gradient of radionuclide contamination of VURS]. *Ecology*. 2013. No. 1. P. 20–29 (in Russ.).
11. Antonova E. V., Pozolotina V. N., Karimullina E. M. Variability of the seed offspring of Rue Boneless in conditions of chronic irradiation of the zone of the East Urals radioactive trace. *Ecology*. 2014. No. 6. P. 459–468 (in Russ.).
12. Geraskin S. A., Vasiliev D. V., Kuzmenkov A. G. [Specific features of the formation of Pinussylvestris seeds in the remote period after the Chernobyl accident]. *Radiation Biology. Radioecology*. 2015. Vol. 55, No. 5. P. 539–547 (in Russ.).
13. Butorina A. K., Kalayev V. N., Mironov A. N. Cytogenetic variability in populations of Scots pine. *Ecology*. 2001. No. 3. P. 198–209 (in Russ.).
14. Moor F. C., Lollell D. V. Adaptation potential of European agriculture in response to climate change. *Nature Climate Change*, 2014. No. 4 (7). P. 610–614.
15. Goncharova N. V., Kavaliou V. F. [Evaluation of the absorbed doses in generative organs of the Scots pine population in the Narovlyansky and Vetkovsky forestries]. *Radiobiology: Anthropogenic Radiations: materials of Intern. sci. conf. Gomel september 25–26, 2014*. Minsk, 2014. P. 92–94 (in Russ.).
16. Goncharova N. V., Kavaliou V. F. [Formation of pine seeds of Pinussylvestris in conditions of chronic irradiation]. *Ekologicheskii vestnik*. 2017. No. 1 (39). P. 48–52 (in Russ.).
17. Sparrow A. H. Research uses of the gamma field and related radiation facilities at Brookhaven National laboratory. *Radiat. Bot.* 1966. Vol. 6. P. 377–405.
18. Karaban R. T., Mishenkov N. N., Priest B. S., et al. [Effects of acute gamma irradiation on forest biogeocenoses]. *Problems of forest radioecology: Proceedings of IPG*. Issue. 38. Gidrometeoizdat, 1979. P. 27–52 (in Russ.).
19. Noskova N. E., Tretyakova I. N. [Effect of stress on reproductive ability of Scots pine]. *Coniferous boreal zone*. 2006. Vol. 23, issue. 1. P. 54–63.
20. Kuznetsova N. F. [Influence of climatic conditions on the manifestation of the sign of self-fertility in Scots pine]. *Ecology*. 2009. Vol. 40, No. 5. P. 390–395 (in Russ.).
21. Kozubov G., Taskaev A. I. [Radiobiological and radioecological studies of woody plants]. SPb., 1994 (in Russ.).
22. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. *Ann. ICRP*. 2009. Vol. 38, No. 4–6. P. 1–242.

23. Vorobeichik E. L., Kozlov M. V. [The impact of point sources of pollutant emissions on terrestrial ecosystems: research methodology, experimental schemes, common mistakes]. *Ecology*. 2012. No. 2. P. 83–91 (in Russ.).
24. Geraskin S. A., Dikareva N. S., Udalova A. A., et al. [Cytogenetic Effects in Pine Scots Populations from Bryansk Region, Subjected to Radioactive Contamination as a Result of the Chernobyl Accident]. *Radiats. biology. Radioecology*. 2008. Vol. 48, issue 5. P. 584–595 (in Russ.).
25. Mashkovich V. P., Kudryavtseva A. V. [Protection against ionizing radiation]. Moscow, 2013 (in Russ.).
26. Selyaninov G. T. [On Agricultural Climate Assessment]. *Proceedings of Agricultural Meteorology*. 1928. Issue. 20. P. 169–178 (in Russ.).
27. Geraskin S. A., Fesenko S. V., Chernyaeva L. G., et al. [Statistical Methods for Analysis of Empirical Distributions of the Accumulation Ratios of Radionuclides by Plants]. *Agricultural Biology*. 1994. No. 1. P. 130–137 (in Russ.).
28. [Atlas of modern and predictive aspects of the consequences of the Chernobyl accident in the affected territories of Russia and Belarus (ASPA Russia-Belarus)]. Moscow–Minsk, 2009 (in Russ.).
29. Spiridonov S. I., Fesenko S. V., Geraskin S. A. et al. [Evaluation of irradiation doses of woody plants in the remote period after the Chernobyl accident]. *Radiats. biology. Radioecology*. 2008. Vol. 48, issue 4. P. 432–438 (in Russ.).
30. Gordienko M. I., Gordienko N. M., Leontyak G. P. [Influence of air temperature and precipitation on the mass and germination of pine seeds]. *Increase the productivity of forests and the effectiveness of protective afforestation*. Kiev, 1985. P. 45–54 (in Russ.).
31. Evseeva T. I., Geraskin S. A., Belykh E. S., et al. [An Assessment of the Reproductive Capacity of Pinussylvestris Growing in Conditions of Chronic Influence of Radionuclides of the Uranium and Thorium Series]. *Ekologiya*. 2011. No. 5. P. 355–360 (in Russ.).
32. Skok A. V., Glazun I. N., Samoshkin E. N. [Influence of radioactive contamination of Scots pine on the viability and anomalies of pollen in the Bryansk Region of the zone of deciduous forests]. *LesnoyZhurn*. 2005. No. 5. P. 7–11 (in Russ.).
33. Pozolotina V. N., Antonova E. V., Karimullina E. M., et al. [Consequences of the chronic action of radiation for the flora of the East Urals radioactive trace]. *Radiatsbiologiya. Radioecology*. 2009. Vol. 49, No. 1. P. 97–106 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 06.02.2018
Received by editorial board 06.02.2018

УДК 549.25/.28:581.526.3:627.157(282.247.321.7)(476.2-21Гомель)

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДНЫХ РАСТЕНИЯХ Р. СОЖ В РАЙОНЕ ГОМЕЛЯ

Т. В. МАКАРЕНКО¹⁾, А. С. КОСМАТЬКОВ¹⁾

¹⁾Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, ул. Советская, 108, 246019, Гомель, Беларусь

Проведен сравнительный анализ содержания и изучение динамики накопления тяжелых металлов в донных отложениях и погруженных водных растениях р. Сож на разных участках с целью определения влияния городской агломерации г. Гомеля на загрязнение р. Сож. Для исследования были выбраны участки р. Сож, расположенные выше и ниже города по течению, что позволило установить степень влияния городской агломерации на загрязнение компонентов водной экосистемы соединениями тяжелых металлов. Объектами исследования являлись донные отложения и погруженные водные растения р. Сож. Содержание металлов в золе растений и донных отложениях определялось атомно-эмиссионным спектральным методом на спектрофотометре PGS-2. Поверхностный сток г. Гомеля оказывает влияние на накопления металлов в донных отложениях р. Сож, о чем свидетельствуют высокие концентрации металлов в отложениях на участке реки ниже черты города в сравнении с участком до принятия стоков. В большинстве случаев с повышением концентрации металлов в донных отложениях увеличивалась концентрация и в водных растениях, хотя тесных корреляционных зависимостей между данными величинами не обнаружено.

Повышение содержания металлов в растениях в 2016 г. на всех участках реки, пусть и незначительное для некоторых металлов, свидетельствует о переходе металлов из донных отложений в водные массы в доступных для растений формах из-за изменившихся физико-химических условий, связанных с резким изменением уровня воды в р. Сож.

Максимум содержания меди и никеля в донных отложениях приходился на разные временные отрезки и на разные участки реки, в отличие от ванадия и титана, максимальная концентрация которых отмечена в 2014 г. на участке реки ниже города.

Ключевые слова: тяжелые металлы; высшие водные растения; коэффициент накопления; медь; никель; ванадий; титан; донные отложения.

CONTENT DYNAMICS OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS AND AQUATIC PLANTS OF R. SOZH IN THE GOMEL REGION

T. V. MAKARANKA^a, A. S. KASMATSKOU^a

^aFrancisk Skorina Gomel State University, Soviet street, 108, 246019, Gomel, Belarus

Corresponding author: tmakarenko@gsu.by

Образец цитирования:

Макаренко Т. В., Косматьков А. С. Динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях и водных растениях р. Сож в районе Гомеля // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 48–60.

For citation:

Makaranka T. V., Kasmatskou A. S. Content dynamics of heavy metals in bottom sediments and aquatic plants of r. Sozh in the Gomel region. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 48–60 (in Russ.).

Автор:

Татьяна Викторовна Макаренко – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры химии.

Александр Сергеевич Косматьков – магистрант 2-го года обучения.

Author:

Tatsiana V. Makaranka, PhD (biology), associate professor; associate professor of the department of chemistry chair.

tmakarenko@gsu.by

Aliaksandr S. Kasmatskou, graduate student of the second year of study.

sashakosmatkov@mail.ru

The purpose of research was to conduct a comparative analysis of containment and studying of concentration dynamics of heavy metals in bottom sediments and immersed aquatic plants of r. Sozh at different sites for impact determination of city agglomeration of c. Gomel on contamination of r. Sozh. For research there were chosen sites of r. Sozh, located above and below city with the flow of river, that allowed to determine the grade of influence of city agglomeration at pollution of water environment components by heavy metal compounds. The object of research was bottom sediments and immersed aquatic plants of r. Sozh. Content of metals in ashes of plants and bottom sediments was determined by atomic-emission spectral method with spectrophotometer PGS-2.

Effluent of c. Gomel influences the accumulation of metals in bottom sediments of r. Sozh, as evidenced by high concentrations of metals in sediments at site of river below the city in comparison with site before taking up the effluent. In most cases with increase of metals concentration in bottom sediments concentration in aquatic plants has been increased too, although close correlation dependencies between this values were not found out. Increase of content of metals in plants in 2016 at all sites of river, albeit insignificantly for some metals, attests transition of metals from bottom sediments to water masses in forms accessible for plants because of changed physic-chemical conditions, associated with abrupt change of water level in r. Sozh. Maximum content of copper and nickel in bottom sediments accounted for different time intervals and different sites of river unlike vanadium and titanium, which maximum concentration was noted in 2014 at site of river below the city.

Key words: heavy metals; higher aquatic plants; accumulation coefficient; copper; nickel; vanadium; titanium; bottom sediments.

Введение

Несмотря на использование на большинстве городских очистных сооружений последовательно механической и биологической очистки, нормативно очищенные сточные воды сбрасываются с повышенными относительно местных поверхностных вод концентрациями загрязняющих веществ. В результате поверхностные воды в городах подвергаются интенсивному химическому воздействию. В наибольшей степени это относится к областным центрам и г. Минску, на долю которых приходится 72–87 % общей нагрузки на реки и водоемы по тяжелым металлам [1]. В городах отмечается трансформация химического состава атмосферных осадков и увеличение аэрозольных выпадений на подстилающую поверхность [1; 2], что также способствует загрязнению поверхностных вод городских водоемов тяжелыми металлами. Существенные изменения химического состава фиксируются в водоемах, расположенных в пределах селитебных зон, что обусловлено поступлением загрязненных бытовых стоков и несанкционированным складированием бытовых отходов у уреза воды, а также высокой замусоренностью берегов в результате неорганизованной рекреации.

Использование высших водных растений для оценки загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами, в сравнении с другими методами, имеет ряд преимуществ. Высшие водные растения отвечают всем требованиям к биоиндикаторам и являются универсальными маркерами общего состояния водных экосистем [3].

Цель исследования: провести сравнительный анализ содержания и изучить динамику накопления тяжелых металлов в донных отложениях и погруженных водных растениях на разных участках р. Сож для определения влияния городской агломерации г. Гомеля на загрязнение реки.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в течение 2010–2016 гг. Для него были выбраны участки р. Сож, находящиеся выше города (д. Кленки) и ниже города по течению (д. Ченки). Участок реки ниже города по течению активно используется для проведения культурно-массовых мероприятий, отдыха горожан. Вдоль берега реки (за д. Ченки) находится санаторно-курортная зона, где расположен крупный комплекс санаториев и детских оздоровительных лагерей.

В связи с разными источниками поступления элементов в ткани растений, особенно важным является дифференцированное ранжирование накопления элементов растениями различных экологических групп. Выделение экологических групп водных растений связано с тем, что не во всех изучаемых водоемах можно встретить представителей одного вида гидрофитов, и этот факт вызывает сложности при проведении сравнительного анализа состояния растительности водоемов. В основе объединения растений в экологические группы лежит единство механизмов поступления веществ в их органы и ткани. По данным литературных источников, многие растения имеют одинаковые пути поступления веществ в организм, что и послужило объединением водных растений в экологические группы и дальнейшее исследование одной группы растений, произрастающих в разных водоемах. Их деление на экологические группы в настоящей работе основывается на классификации, предложенной В. М. Катанской [4], В. Г. Папченковым [5] и другими авторами [6–8]. Согласно данной классификации, растения подразделяют на 4 экологические группы: I группа – свободноплавающие неприкрепленные, получающие

элементы минерального питания преимущественно из воды или воздушных масс; II группа – плавающие прикрепленные растения (укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями), которые, помимо водной массы, получают значительную часть химических элементов из донных отложений; III группа – подводные (погруженные) растения на протяжении вегетационного сезона могут менять источники поступления химических веществ в свои ткани; IV группа – надводные (земноводные или воздушно-водные) растения; для представителей этой группы донные отложения являются основным источником поступления вещества при значительной роли водной массы и атмосферного поступления веществ. В ходе исследования были отобраны растения, относящиеся к III экологической группе – гидрофиты, погруженные или почти погруженные: рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), элодея канадская (*Elodea canadensis* Rich.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.), уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum*). Данные виды растений могут поглощать вещества для жизнедеятельности как из водных масс, так и из донных отложений. В научной литературе часто встречается информация о влиянии водных масс на содержание загрязнителей в погруженных растениях, поэтому в настоящих исследованиях проводилось сравнение концентрации металлов в растениях и донных отложениях [9].

Пробы растений после тщательного ополаскивания последовательно высушивали до воздушно-сухого, затем абсолютно сухого состояния и озоляли до белой золы в муфельной печи при 450 °C.

Образцы донных отложений отбирались в летний период (июль–август) с использованием дночерпателя Боруцкого и Петерсена. Каждый образец составлялся из 5 проб с однородного участка. Отобранные в полиэтиленовые емкости пробы в дальнейшем высушивались до воздушно-сухого состояния. Ситовым методом выделялась для исследования фракция менее 1 мм. Затем производилось их озоление при 450 °C. Содержание органического вещества оценивалось по потерям в массе после прокаливания (ППП) воздушно-сухих образцов при температуре 450 °C в течение 8 ч.

Содержание металлов в золе растений и донных отложениях определяли атомно-эмиссионным спектральным методом на спектрофотометре PGS-2 на базе Республиканского унитарного предприятия «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт».

Таблица 1

Достоверность отличий между содержанием изученных металлов в водных растениях р. Сож выше и ниже города по течению

Table 1

Reliability of differences between the studied metals concentrations in aquatic plants of r. Sozh above and below the city down the river flow

Годы	Cu	Ni	V	Ti	$t_{\text{крит}}$	df	p
	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{эмп}}$			
2010	4,481	2,539	4,308	3,777	2,262	9	$\leq 0,01$
2012	4,938	2,618	4,362	3,521	2,262	9	$\leq 0,01$
2014	4,706	2,370	4,151	3,864	2,262	9	$\leq 0,01$
2016	4,051	2,421	4,060	3,601	2,262	9	$\leq 0,01$

Таблица 2

Достоверность отличий между содержанием изученных металлов в донных отложениях р. Сож выше и ниже города по течению

Table 2

Reliability of differences between the studied metals concentrations in bottom sediments of r. Sozh above and below city down the river flow

Годы	Cu	Ni	V	Ti	$t_{\text{крит}}$	df	p
	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{эмп}}$	$t_{\text{эмп}}$			
2010	3,317	2,342	2,503	5,127	2,262	9	$\leq 0,01$
2012	3,633	2,740	2,860	4,963	2,262	9	$\leq 0,01$
2014	3,827	2,370	2,275	5,253	2,262	9	$\leq 0,01$
2016	3,607	2,302	2,286	7,397	2,262	9	$\leq 0,01$

Статистическая обработка осуществлялась с помощью Microsoft Office Excel 2007, проведен парный двухвыборочный t -тест для средних (табл. 1 и 2).

Были рассчитаны коэффициенты накопления (далее – K_n) изучаемых металлов в системе донные отложения → высшие водные растения. Расчет производился по формуле:

$$K_n = \frac{C_x}{C_y}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент накопления; C_x – концентрация металла в высших водных растениях; C_y – концентрация металла в донных отложениях [10].

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении парного двухвыборочного t -теста для средних гипотеза о достоверности различий между содержанием металлов в растениях и донных отложениях на разных участках реки подтвердилась, и был сделан вывод о высокой достоверности отличий между выборками при уровне значимости $p = 0,01$ (табл. 1 и 2).

На протяжении всего периода исследований для изучаемых металлов, за исключением меди, была отмечена общая тенденция увеличения их содержания на участке реки ниже города по течению в сравнении с участком до принятия стоков города. Причем максимальное изменение концентрации характерно для ванадия в 2010 г.: его содержание увеличилось в 2,3 раза при движении вниз по течению реки. Менее значительные изменения наблюдались для титана: концентрация металла увеличивалась в 1,8–2,0 раза до 2014 г. Различия в содержании никеля составили 1,1–1,6 раза. За время исследований величина потери при прокаливании (ППП), определяющая содержание органического вещества в донных отложениях, изменялась для участка реки ниже города в пределах от 2,78–0,27 % до 3,04–0,21 %. Для участка реки выше города значение PPP колебалось от 1,1–0,13 % до 1,3–0,14 %, что на 39,6–42,8 % ниже, чем определено для участка после принятия стоков города.

Как известно, органическое вещество является важной депонирующей фракцией донных отложений для большинства микроэлементов [11; 12]. Этот факт, наряду с влиянием стоков города, может оказывать значительное влияние на накопление металлов в донных отложениях на участке ниже городской черты.

Для меди повышение содержания в донных отложениях при движении вниз по течению отмечено только в 2010 и 2012 годах. В 2014 и 2016 годах концентрация металла на участке после принятия стоков города незначительно снизилась (в 1,1 раза) по сравнению с участком выше города, но различия являются недостоверными (рис. 1).

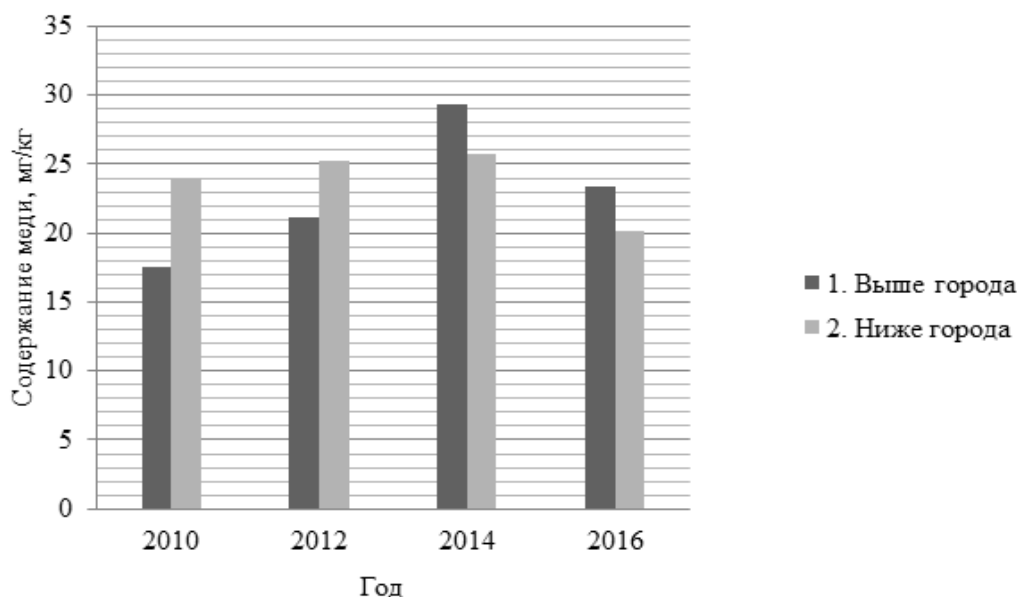


Рис. 2. Динамика содержания никеля (мг/кг сухой массы) в донных отложениях

Fig. 2. Dynamics of nickel concentration

Максимальное содержание меди наблюдалось на участке выше города в 2014 г., и составило 29,3 мг/кг сухой массы. Максимальная концентрация никеля за период исследований отмечена на участке после принятия стоков в 2010 г. (рис. 2).

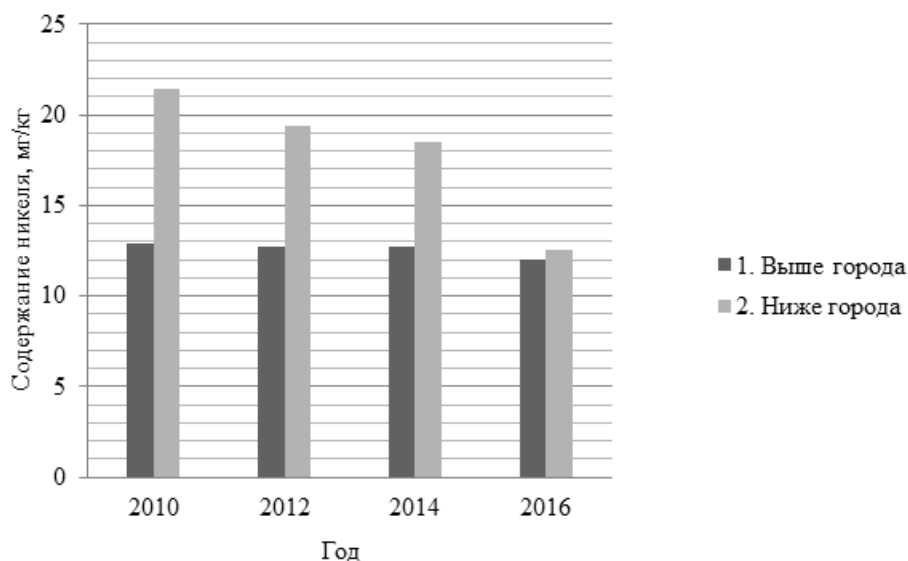


Рис. 2. Динамика содержания никеля (мг/кг сухой массы) в донных отложениях

Fig. 2. Dynamics of nickel concentration (mg/kg of dry weight) in bottom sediments

Для соединений ванадия максимум содержания зафиксирован на участке после принятия стоков, однако уже в 2014 г. (рис. 3).

Наибольшая концентрация титана характерна, как и для ванадия, на участке ниже города по течению в 2014 г. (рис. 4).

Из всего вышеизложенного следует, что для изучаемых металлов, кроме ванадия и титана, максимум содержания в донных отложениях приходился на разные временные отрезки и на разные участки реки. Это свидетельствует о единых путях поступления ванадия и титана в речную систему с поверхностным стоком города.

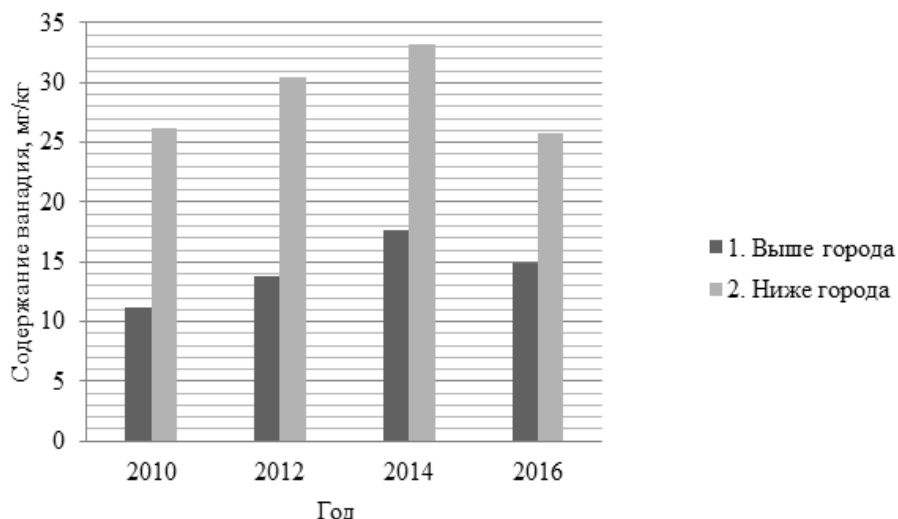


Рис. 3. Динамика содержания ванадия (мг/кг сухой массы) в донных отложениях

Fig. 3. Dynamics of vanadium concentration (mg/kg of dry weight) in bottom sediments

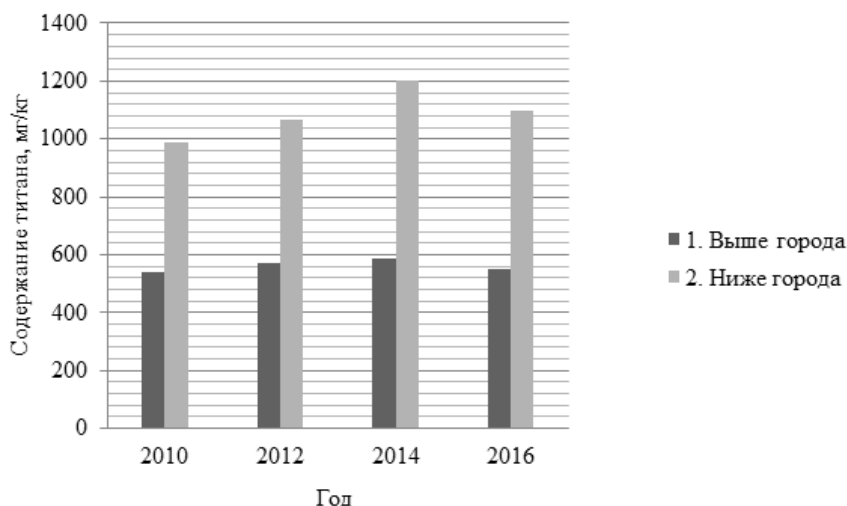


Рис. 4. Динамика содержания титана (мг/кг сухой массы) в донных отложениях

Fig. 4. Dynamics of titanium concentration (mg/kg of dry weight) in bottom sediments

Данные металлы официально не используются в производственных процессах на предприятиях г. Гомеля, однако их соединения поступают в окружающую среду в качестве побочных продуктов при горении различных видов топлива, производстве удобрений и т. д. Данный факт свидетельствует об общем загрязнении окружающей среды не только стоками, но и газопылевыми выбросами предприятий, содержащих в своем составе микрочастицы соединений тяжелых металлов.

Как показали ранее проведенные исследования, концентрация меди на участке до черты города в разные временные отрезки превышала содержание металла на участке ниже черты города [13]. В литературных источниках факты высокого содержания отдельных металлов в снеговом покрове, почве, воде и донных отложениях водоемов на территории с низкой антропогенной нагрузкой встречаются в [1; 14; 15], и при объяснении данных фактов приводятся разные причины. Согласно результатам исследования [1; 15; 16], аэротехногенное загрязнение территории города и прилегающих к городу территорий зависит не только от размещения источников выбросов, но и от географического расположения изучаемых территорий и движения загрязненных воздушных масс. Ареалы экологической активности города может превосходить радиус города в 50 раз [1]. Влияние г. Кировограда, например, на загрязнение снегового покрова наблюдается на расстоянии 6–10 км от города [14; 16].

Особенности географического положения Беларуси обусловили резкое преобладание в составе атмосферных выпадений трансграничной составляющей [17]. В поступлении на территорию Беларуси тяжелых металлов и других загрязнителей основной вклад принадлежит странам-соседям: Польше, Германии, Украине, России [17], что также может сказываться на загрязнении различных территорий, испытывающих низкую региональную техногенную нагрузку. Согласно исследованиям [15], реки выступают в роли аэродинамической трубы, втягивающей загрязненные воздушные массы, которые в виде турбулентного потока устремляются по течению, захватывая прибрежную полосу. По данным [16; 18], на фоновых территориях с поверхностным стоком в водоемы выносятся от 5 до 30 % тяжелых металлов, остальная часть металлов накапливается в почвах. Факт накопления металлов на относительно чистых территориях может быть связан с геохимическим поведением элементов (главным образом, с относительно хорошей растворимостью их соединений) [16; 18].

Согласно исследованиям белорусских ученых [1], высокие коэффициенты аномальности содержания тяжелых металлов характерны для почв агроселитебных территорий Гомеля и прилегающих территорий. Как указано в работах [1; 19], минеральные и органические удобрения являются одним из источников поступления в почву тяжелых металлов, которые в дальнейшем с поверхностным стоком поступают в водоемы, расположенные на агроселитебных территориях. Высокий уровень концентрации меди в донных отложениях на участке реки выше города по течению, наблюдаемый нами в разные временные промежутки на протяжении длительного периода исследования (с 2000 г.), объяснить сложно, данный факт требует более детального изучения физико-химических показателей состояния донных отложений и речной воды. На настоящий момент можно лишь предположить, что высокое содержание меди на незагрязненном участке реки может быть связано с региональными особенностями территории, аэротехногенным загрязнением воздушных масс Гомеля, рельефом береговой

зоны (крутые обрывистые берега предполагают поступление поверхностного стока в реку), поступлением медьсодержащих соединений с поверхностным стоком агроселитебных территорий и сельскохозяйственных Ветковского р-на, подходящих в некоторых местах прямо к урезу воды. Можно также предположить, что в отдельные временные промежутки при определенных погодных условиях идет наложение «сфер влияния» вышеперечисленных факторов, тогда концентрация металлов в донных отложениях повышается.

При изучении годовой динамики содержания металлов для меди, ванадия и титана прослеживается общая закономерность: на участке ниже города по течению отмечено постепенное накопление данных металлов в донных отложениях вплоть до 2014 г., затем наблюдалось резкое уменьшение их количества в 1,1–1,3 раза. Концентрация никеля постоянно снижалась и в 2016 г. была почти в 2 раза ниже величины, определенной в 2010 г.

На участке выше города по течению для меди и ванадия было характерно накопление их соединений в донных отложениях до 2014 г. В 2016 г. происходит снижение содержания металлов (в среднем, в 1,3 раза). Концентрация соединений никеля и титана на данном участке за весь период исследования изменялось незначительно.

В отличие от донных отложений, содержание меди в растениях на участке до черты города было выше, чем на участке после принятия поверхностного стока Гомеля (исключение 2012 г.). Можно предположить, что при общей низкой концентрации меди в донных отложениях на участке выше города, ее соединения находились в отложениях в доступных для растений формах. Кроме того, при изменяющихся физико-химических условиях, вызванных колебаниями уровня воды в реке, соединения данного металла переходят из отложений в водные массы, где активно поглощаются растениями.

При определенных условиях донные отложения могут выступать в качестве потенциального источника вторичного загрязнения водной массы [12; 20]. Чаще всего это происходит под влиянием физико-химических факторов (снижение pH и окислительно-восстановительного потенциала Eh на границе раздела фаз «донные отложения — вода», дефицит растворенного кислорода в водной толще и в самих донных отложениях, наличие органических комплексообразующих веществ как природного, так и антропогенного характера, увеличение минерализации контактирующей воды, термические изменения и др.) [20; 21], микробиологических процессов, протекающих в водоемах. Например, восстановление труднорастворимых соединений марганца до подвижных форм; деструкция органических веществ под действием бактериофлоры, отчего высвобождаются и выходят в воду тяжелые металлы [22], а также при вегетации высших водных растений [21; 23]. Вторичное загрязнение может носить локальный характер или охватывать весь водоем в зависимости от вызвавших его причин [21]. Изменение уровня воды в реке влечет за собой изменение температуры в придонных слоях воды, а также значения окислительно-восстановительного потенциала, изменяется содержание растворенного кислорода, скорость деструктивных процессов, активность бентических организмов, минерализация воды и др. По мнению многих авторов [21–26], при изменении внешних факторов, влияющих на водоем (погодные условия, дноуглубительные работы, освоение береговой линии, рыбозаводство, разовое поступление несанкционированных стоков и др.), значительно меняются физико-химические показатели состояния воды и донных отложений водоемов, что может оказать существенное влияние на переход соединений металлов как из донных отложений в толщу воды, так и из воды в донные отложения.

На участке возле д. Кленки (выше города) в 2010 г. определен максимальный уровень содержания меди (25,8 мг/кг сухой массы) за весь период исследования. В 2012 г. отмечен резкий спад концентрации металла в гидрофитах (снижение составило, в среднем, 10,7 раза), однако с 2014 г. содержание меди увеличивалось, и в 2016 его величина достигла значения, определенного в 2010 г. По данным гидрометеоцентра, в 2014 г. уровень воды в р. Сож упал практически на 1 м [27], изменились физико-химические условия состояния экосистемы и, вероятнее всего, это вызвало увеличение содержания металла в биологических объектах. На участке вблизи д. Ченки (ниже города) концентрация меди за весь период исследований варьировала незначительно (различия между минимальным и максимальным содержанием составляло 1,1 раза) и не зависела от изменяющегося уровня воды в реке. Как отмечалось, концентрация металла на участке у д. Ченки в 2,1–6,0 раз ниже, чем на участке до принятия стоков города. Максимальная разница содержания металла на изучаемых участках отмечена в 2010 г. (рис. 5).

Как было отмечено выше, участок ниже черты города по течению имеет большое количество органических соединений. Как известно, органическая фракция может сорбировать загрязнители в больших количествах. Велика вероятность того, что на данном отрезке реки донные отложения выступают в качестве накопителей поллютантов, причем в недоступных для растений формах, что способствует очищению р. Сож от загрязнителей, в том числе и соединений тяжелых металлов.

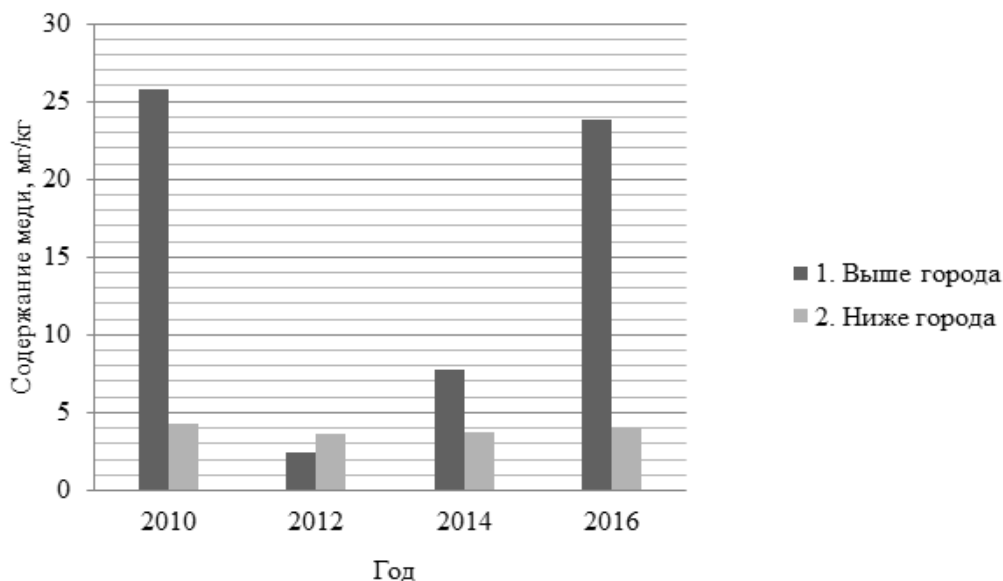


Рис. 5. Динамика содержания меди (мг/кг сухой массы) в высших водных растениях

Fig. 5. Dynamics of copper concentration

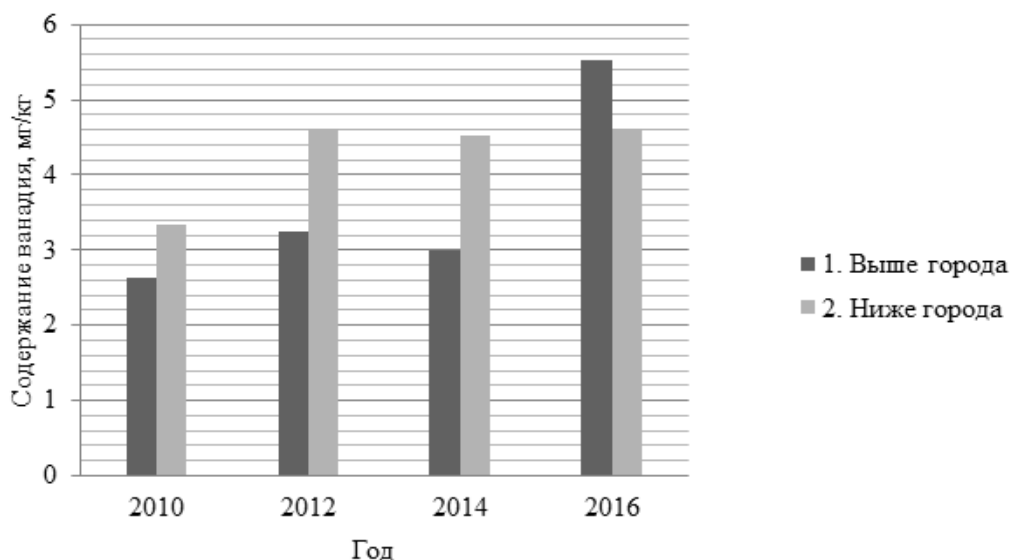


Рис. 6. Динамика содержания никеля (мг/кг сухой массы) в высших водных растениях

Fig. 6. Dynamics of nickel concentration in higher aquatic plants

Значительные различия в содержании никеля у гидрофитов на изучаемых участках реки с превышением концентрации на участке после принятия стоков города (в среднем в 10,0–50,0 раз в 2010 и 2012 гг.) свидетельствуют о значительном влиянии поверхностного стока г. Гомеля на накопление растениями соединений никеля.

Следует отметить, что общее содержание металла в гидрофитах реки возле д. Ченки (ниже города) за годы исследований практически не изменилось, тогда как на участке до принятия стоков концентрация никеля увеличилась к 2016 г. в 12,7 раза по сравнению с 2010 г. и составила 4,98 мг/кг сухой массы. В 2014 и в 2016 гг. содержание никеля в растениях реки до принятия стоков города превысило таковое в сравнении с участком после принятия стоков в 1,1 и 1,2 раза соответственно (рис. 6).

Все вышесказанное говорит о доступности соединений никеля на участке реки до городской черты и о возросшем антропогенном воздействии на данный участок, хотя в реку у д. Кленки поступают только стоки сельхозугодий Ветковского р-на и дачных участков, подходящих прямо к урезу воды.

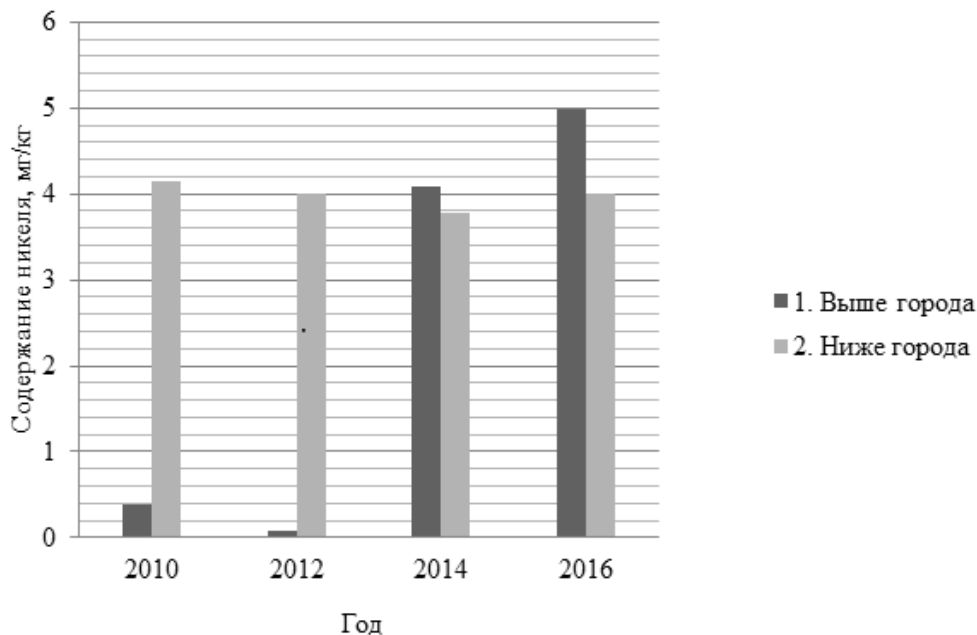


Рис. 7. Динамика содержания ванадия (мг/кг сухой массы) в высших водных растениях

Fig. 7. Dynamics of vanadium concentration in higher aquatic plants

Как следует из рис. 7, до 2014 г. концентрация ванадия в растениях р. Сож ниже города по течению превышала в 1,5–1,7 раза содержание, определенное в растениях реки на участке до принятия стоков города. Однако в 2016 г. концентрация металла в гидрофитах на участке выше черты города резко увеличилась и превысила таковую на участке за чертой города (в среднем) в 1,8 раза. Для данного металла это максимальное содержание, определенное с 2010 по 2016 год (5,53 мг/кг сухой массы). За период исследований концентрация ванадия в растениях вблизи д. Ченки (ниже города) изменялась незначительно. На участке до принятия стоков содержание металла в гидрофитах в 2014 г. снизилось по сравнению с 2012 г. в 1,1 раза и различия были достоверны.

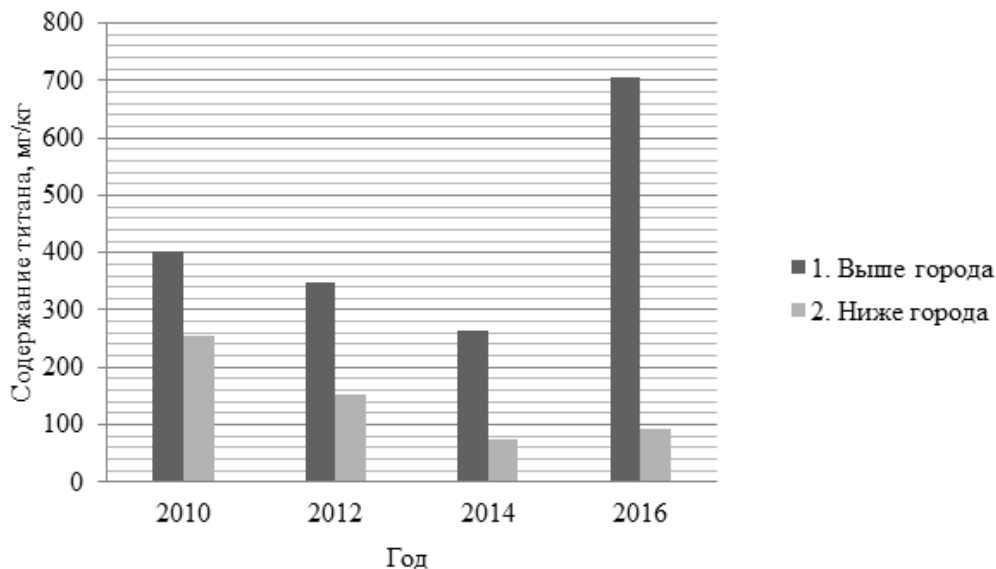


Рис. 8. Динамика содержания титана (мг/кг сухой массы) в высших водных растениях

Fig. 8. Dynamics of titanium concentration in higher aquatic plants

Только для титана отмечено снижение концентрации в растениях при движении вниз по течению реки. Одной из причин может быть низкая доступность соединений металла для водных растений в поверхностном стоке города. Вторая причина – высокая аккумулярующая способность донных отложений реки на участке за чертой города. Об этом свидетельствуют высокие концентрации соединений титана в отложениях и низкие – в растениях на участке реки после принятия стоков города. Содержание металла снижалось на исследуемых участках реки до 2014 г. Затем в 2016 г. был отмечен резкий скачок увеличения концентрации титана в растениях на участке выше города по течению почти в 2,7 раза, что является максимальным за весь период исследований (рис. 8). На участке ниже города по течению с 2014 по 2016 г. также наблюдалось увеличение концентрации титана в растениях в 1,2 раза.

На участке реки ниже города по течению наблюдалась одинаковая тенденция изменения концентрации меди, титана и ванадия в донных отложениях: до 2014 г. содержание металлов росло и к 2016 г. снижалось. Для никеля концентрация в отложениях снижалась на протяжении всего периода исследований. В растениях содержание меди, никеля и ванадия изменялось незначительно, и только у титана отмечалось снижение концентрации к 2014 г. и увеличение к 2016 г. У гидрофитов в 2016 г. содержание всех металлов увеличивалось, пусть и незначительно, в то время как концентрация в донных отложениях снижалась. Значение K_n , рассчитанное для изучаемых металлов, за исключением титана, на участке ниже города в 2016 г. увеличивалось в сравнении с другими годами исследований. Однако изменения K_n некоторых металлов были незначительны (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты накопления изученных металлов в водных растениях

Table 3

Accumulation coefficients of studied metals in aquatic plants

Год	K_n Cu		K_n Ni		K_n V		K_n Ti	
	Выше города	Ниже города	Выше города	Ниже города	Выше города	Ниже города	Выше города	Ниже города
2010	1,466	0,177	0,030	0,193	0,235	0,128	0,741	0,257
2012	0,113	0,144	0,006	0,206	0,236	0,152	0,612	0,143
2014	0,263	0,146	0,322	0,204	0,170	0,137	0,454	0,063
2016	1,020	0,204	0,416	0,319	0,371	0,179	1,289	0,083

Как свидетельствуют исследования ученых, при помощи рассчитанных значений K_n можно сделать выводы об общей доступности загрязняющих агентов для биологических объектов [11].

Тенденция изменения содержания металлов в донных отложениях на участке до принятия стоков города такая же, как и ниже города по течению реки: до 2014 г. концентрация металлов увеличивалась, но к 2016 г. снижалась, а содержание никеля однонаправленно уменьшалось в течение всего времени исследований. Для растений единой закономерности изменения концентрации металлов за весь период исследований не наблюдалось. Для меди и никеля содержание в гидрофитах уменьшалось только к 2012 г. и далее уровень концентрации возрастал вплоть до 2016 г. Содержание ванадия изменялось незначительно, но к 2016 г. увеличивалось. Для титана концентрация в растениях снижалась, но к 2016 г., как и для всех изучаемых металлов, на данном участке реки она возрастала. Максимальные величины K_n для участка выше города (исключение медь), как и для участка ниже города, рассчитаны в 2016 г., что свидетельствует об увеличении количества доступных форм практически всех изучаемых металлов в абиотических компонентах р. Сож в 2016 г.

За весь период исследований на участке реки ниже города содержание ванадия, никеля и меди в растениях изменялось незначительно, что не характерно для участка выше черты города, где различия между максимальным и минимальным содержанием составляли 10,8 (медь) – 2,7 раза (титан).

На участке выше города для меди и никеля в 2012 г. отмечено снижение величины K_n и снижение содержания в растениях, хотя для меди концентрация в донных отложениях увеличивалась, а для никеля практически не изменялась. Концентрация ванадия в гидрофитах в 2014 г. на всех изучаемых участках реки изменялась незначительно в сравнении с 2012 г., а в донных отложениях увеличивалась, но рассчитанное значение K_n для данного металла снижалось. Такая же закономерность характерна и для титана в 2014 и 2016 годах на участке ниже города по течению. Следовательно, содержание металлов в биотических компонентах водных экосистем и величины K_n в большей степени дают информацию о загрязнении водных экосистем доступными формами металлов, чем донные отложения.

Снижение содержания металлов в донных отложениях реки в 2016 г. связано, возможно, со снижением общей антропогенной нагрузки на водоток. Однако повышение содержания металлов в растениях в 2016 г. на всех участках реки, пусть и незначительное для некоторых металлов, свидетельствует о переходе металлов из донных отложений в водные массы в доступных для растений формах из-за изменившихся физико-химических условий, связанных с повышением уровня воды в р. Сож в сравнение с 2014 г.

Отмечен тот факт, что минимальное и максимальное содержание соединений изучаемых тяжелых металлов в растениях и донных отложениях зарегистрировано в различные годы и на различных участках реки. В некоторых случаях при максимальном содержании металла в донных отложениях его концентрация в растениях являлась минимальной за весь период.

Величины коэффициентов накопления K_n ванадия, титана и меди (исключение для последнего металла 2012 г.), рассчитанные для участка до принятия стоков города, превышают значения, определенные для участка ниже города. Это в очередной раз доказывает, что донные отложения на участке после принятия стоков города сорбируют тяжелые металлы и переводят их в малодоступные для водных растений формы, что значительно снижает влияние поверхностного стока города на биоту р. Сож. Для никеля доступность его соединений на участке до принятия стоков была выше, по сравнению с участком ниже города только в 2014 и 2016 гг.

Для отдельных временных промежутков концентрация металлов в гидрофитах и донных отложениях имеет прямую зависимость: при повышении содержания меди (кроме 2010 г.), никеля (кроме 2012 и 2014 гг.) и ванадия (кроме 2016 г.) в донных отложениях повышалась концентрация вышеперечисленных металлов в растениях, хотя тесных корреляционных зависимостей между концентрацией металлов в отложениях дна и макрофитах не обнаружено. Общая тенденция прослеживается в изменении содержания металлов в растениях и значения K_n : концентрация меди (2012 г.), никеля (2010 и 2012 гг.) и титана (весь период исследований) увеличивается на участке ниже города, а также повышается значение коэффициента накопления. Минимальные и максимальные концентрации металлов в растениях и величины K_n отмечены в одни и те же временные промежутки и на одних и тех же участках реки. Как свидетельствуют данные табл. 4, между содержанием металлов в растениях и величинами K_n отмечена тесная корреляционная зависимость за исключением никеля на участке реки ниже города, что требует более детальных исследований.

Таблица 4

**Корреляционные зависимости между содержанием тяжелых металлов
в водных растениях и величиной коэффициента накопления**

Table 4

Correlation dependencies between heavy metals concentration in aquatic plants and value of accumulation coefficient

	Cu		Ni		V		Ti	
Участок реки	Выше города	Ниже города	Выше города	Ниже города	Выше города	Ниже города	Выше города	Ниже города
Коэффициент корреляции, r	0,97240	0,8176	0,99914	0,05213	0,90916	0,65987	0,99914	0,9995

Из рассчитанных значений K_n следует, что на участке выше города изученные растения в 2010 и 2016 годах выступали в качестве накопителей соединений меди ($K_n > 1$), а соединений титана только в 2016 г. В остальных случаях K_n позволяют утверждать, что данные растения являются деконцентраторами соединений тяжелых металлов, взятых для исследования.

Заключение

Таким образом, поверхностный сток г. Гомеля оказывает влияние на накопление металлов в донных отложениях р. Сож, о чем свидетельствуют высокие концентрации металлов в отложениях на участке реки ниже черты города по сравнению с участком до принятия стоков. Увеличение содержания металлов при движении вниз по течению реки составляет 1,1–5,0 раз.

Снижение содержания металлов в донных отложениях реки в 2016 г. связано, возможно, со снижением общей антропогенной нагрузки на водоток. Однако повышение содержания металлов в растениях в 2016 г. на всех участках реки, пусть и незначительное для некоторых металлов, свидетельствует о переходе металлов из донных отложений в водные массы в доступных для растений формах из-за изменившихся физико-химических условий состояния водотока.

Участок реки ниже города содержит в донных отложениях значительное количество органических веществ, сорбирующих соединения металлов и переводящие их в недоступные для биоты формы, что подтверждается снижением в большинстве случаев содержания металлов в растениях на данном участке реки и уменьшением значения коэффициента накопления в гидрофитах по донным отложениям.

При повышении концентрации металлов в донных отложениях увеличивалась и концентрация в водных растениях, хотя тесных корреляционных зависимостей между данными величинами не обнаружено. Содержание изучаемых металлов в растениях тесно коррелирует с величиной коэффициента накопления металлов в растениях.

На основании рассчитанных значений K_d в большинстве случаев высшие водные растения, отобранные в ходе исследования, выступали в качестве деконцентраторов соединений изучаемых тяжелых металлов ($K_d < 1$), кроме участка реки выше города, где растения в 2010 и 2016 годах вели себя как накопители соединений меди и титана.

Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание металлов в водных растениях и величины K_d , рассчитанные для растений по донным отложениям, в большей степени дают информацию о загрязнении водных экосистем доступными формами металлов, чем концентрация загрязнителей в донных отложениях.

Библиографические ссылки

1. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск, 2004.
2. Перевозников М. А., Богданова Е. А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. СПб., 1999.
3. Гигевич Г. С., Власов Б. П., Вынаев Г. В. Высшие водные растения Беларуси: Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. Минск, 2001.
4. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР: Методы изучения. Л., 1981.
5. Папченко В. Г. О классификации макрофитов водоемов и водной растительности // Экология. 1985. № 6. С. 8–13.
6. Распопов И. М. О некоторых понятиях гидробиологии // Гидробиол. журнал. 1978. Т. 14, № 3. С. 20–26.
7. Савченко В. В., Вадковская И. К. Микроэлементы в водных растениях Беларуси (на примере рек Березина и Свислочь) // Природопользование. 1996. Вып. 1. С. 124–127.
8. Дубына Д. В., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Принципы классификации высшей водной растительности // Гидробиол. журнал. 1989. Т. 25, № 2. С. 9–18.
9. Лукина Л. Ф., Смирнова Н. Н. Физиология высших водных растений. Киев, 1988.
10. Никаноров А. М., Жулидов А. В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л., 1991.
11. Малиновский Д. Н., Моисеенко Т. И., Кудрявцева Л. П. Миграция загрязняющих веществ в водных объектах районов горных разработок (на примере апатитовых месторождений) // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 1. С. 72–81.
12. Косов В. И., Иванов Г. Н., Левинский В. В. и др. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 4. С. 448–453.
13. Макаренко Т. В., Силивончик Е. М. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях и воде водоемов и водотоков г. Гомеля // Экологический вестник. 2016. № 1(35). С. 111–118.
14. Баглаева Е. М., Сергеев А. П., Медведев А. Н. Пространственная структура техногенного загрязнения снегового покрова промышленного города и его окрестностей растворимыми и нерастворимыми формами металлов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2012. № 4. С. 326–335.
15. Куимова Н. Г. Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2012. № 5. С. 422–435.
16. Даувальтер В. А. Влияние выбросов горно-металлургического комбината на химический состав атмосферных выпадений (Мончегорский полигон) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2009. № 3. С. 228–240.
17. Бусько Е. Г., Позняк С. С. Оценка трансграничного переноса техногенных поллютантов // Экологический вестник России. 2011. № 10. С. 66–69.
18. Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах. М., 1993.
19. Бреховских В. Ф., Кочарян А. Г., Сафронова К. И. Влияние изменения антропогенной нагрузки на гидрохимический и гидробиологический режимы Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 1. С. 85–91.
20. Кондратьева Л. М. Вторичное загрязнение водных экосистем // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 2. С. 221–231.
21. Мунтяну Г. Г., Мунтяну В. И. Влияние Резинско-Рыбницкого промышленного комплекса на содержание ртути (II), меди (II), свинца (II), кадмия (II) в Дубоссарском водохранилище реки Днестр // Гидробиол. журнал. 2004. Т. 40, № 4. С. 80–96.
22. Линник П. Н. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов // Гидробиол. журн. 1999. Т. 35, № 1. С. 97–109.
23. Денисова А. И. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев, 1987.
24. Даувальтер В. А. Влияние выбросов горно-металлургического комбината на химический состав донных отложений озер (Мончегорский полигон) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. № 2. С. 129–139.
25. Болдырев К. А., Кузьмин В. В., Куранов Н. П. Методика расчета выхода тяжелых металлов из слоя донных отложений водоемов // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 6. С. 43–47.
26. Бреховских В. Ф. Тяжелые металлы в донных отложениях Нижней Волги и дельты реки // Вода: химия и экология. 2010. № 2. С. 2–10.
27. Интернет-портал республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2017. URL: <http://www.pogoda.by/gidroarchive> (дата обращения: 03.08.2017).

References

1. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I. Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk, 2004 (in Russ.).
2. Perevoznikov M. A., Bogdanova E. A. Tyazhelye metally v presnovodnykh ekosistemakh [Heavy metals in freshwater ecosystems]. St. Petersburg, 1999. (in Russ.).
3. Gigevich G. S., Vlasov B. P., Vynaev G. V. Vysshie vodnye rasteniya Belarusi : Ekologo-biologicheskaya kharakteristika, ispol'zovanie i okhrana [Higher water plants of Belarus: Ecological and biological characteristics, use and protection]. Minsk, 2001. (in Russ.).
4. Katanskaya V. M. Vysshay avodnaya rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR: Metody izucheniya [Higher water vegetation of the continental reservoirs of the USSR: Methods of study]. Leningrad, 1981.
5. Papchenkov V. G. About the classification of macrophytes in water bodies and aquatic vegetation. *Jekologija* [Ecology]. 1985. No. 6. P. 8–13 (in Russ.).
6. Raspopov I. M. About some concepts of hydrobotany. *Hydrobiological j.*, 1978. Vol. 14, No. 3. P. 20–26 (in Russ.).
7. Savchenko V. V., Vadkovskaja I. K. Microelements in aquatic plants of Belarus (on the example of the rivers Berezina and Svisloch). *Nature management*. 1996. No. 1. P. 124–127 (in Russ.).
8. Dubyna D. V., Sheljag-Sosonko Ju. R. Principles for the classification of higher aquatic vegetation. *Hydrobiological j.* 1989. Vol. 25, No. 2. P. 9–18 (in Russ.).
9. Lukina L. F., Smirnova N. N. Fiziologiya vysshikh vodnykh rastenii [Physiology of higher aquatic plants]. Kiev, 1988 (in Russ.).
10. Nikanorov A. M., Zhulidov A. V. Biomonitirovanie metallov v presnovodnykh ekosistemakh [Biomonitoring of metals in freshwater ecosystems]. Leningrad, 1991 (in Russ.).
11. Malinovskii D. N., Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P. Migration of pollutants in water objects of mining areas (on the example of apatite deposits). *Water resources*, 2001. Vol. 28, No. 1. P. 72–81 (in Russ.).
12. Kosov V. I., Ivanov G. N., Levinskii V. V., et al. Concentrations of heavy metals in the bottom sediments of the Upper Volga. *Water resources*, 2001. Vol. 28, No. 4. P. 448–453 (in Russ.).
13. Makarenko T. V., Silivonchik N. M. The content of heavy metals in bottom sediments and water in Gomel water objects and streams. *Ecological bulletin*, 2016. No. 1. P. 111–118 (in Russ.).
14. Baglaeva E. M., Sergeev A. P., Medvedev A. N. Spatial structure of technogenic contamination of the snow cover of the industrial city and its environs with soluble and insoluble forms of metals. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2012. No. 4. P. 326–335 (in Russ.).
15. Kuimova N. G. Ecological and geochemical assessment of aerotechnogenic pollution of the urbanized territory according to the state of the snow cover. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2012. No. 5. P. 422–435 (in Russ.).
16. Dauval'ter V. A. Effect of mining and metallurgical plant emissions on the chemical composition of atmospheric deposition (Monchegorskiy polygon). *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2009. No. 3. P. 228–240 (in Russ.).
17. Bus'ko E. G., Poznjak S. S. Assessment of transboundary transfer of technogenic pollutants. *Ecological bulletin of Russia*. 2011. No. 10. P. 66–69 (in Russ.).
18. Elpat'evskij P. V. Geokhimiya migratsionnykh potokov v prirodnykh i prirodno-tehnogennykh sistemakh [Geochemistry of migration flows in natural and natural-technogenic systems]. Moscow, 1993 (in Russ.).
19. Brehovskikh V. F., Kocharjan A. G., Safronova K. I. Influence of the change in the anthropogenic load on the hydrochemical and hydrobiological regimes of the Ivankovo Reservoir. *Water resources*. 2002. Vol. 29, No. 1. P. 85–91 (in Russ.).
20. Kondrat'eva L. M. Secondary pollution of aquatic ecosystems. *Water resources*. 2000. Vol. 27, No. 2. P. 22–231 (in Russ.).
21. Muntjanu G. G., Muntjanu V. I. The influence of the Rezinsk-Rybnitsa industrial complex on the content of mercury (II), copper (II), lead (II), cadmium (II) in the Dubossary reservoir of the Dniester River. *Hydrobiological j.* 2004. Vol. 40, No. 4, P. 80–96 (in Russ.).
22. Linnik P. N. Bottom sediments of reservoirs as a potential source of secondary pollution of the aquatic environment by heavy metal compounds. *Hydrobiological j.* 1999. Vol. 35, No. 1. P. 97–109 (in Russ.).
23. Denisova A. I. Donnye otlozheniya vodohranilishh i ih vliyanie nakachestvo vody [Bottom sediments of reservoirs and their influence on water quality]. Kiev, 1987 (in Russ.).
24. Dauval'ter V. A. The impact of mining and smelting complex emissions on the chemical composition of lake bottom sediments. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2010. No. 2. P. 129–139 (in Russ.).
25. Boldyrev K. A., Kuz'min V. V., Kuranov N. P. Method for calculating the yield of heavy metals from the bottom sediments of reservoirs. *Water supply and sanitary engineering*. 2016. No. 6. P. 43–47 (in Russ.).
26. Brehovskikh V. F. Heavy metals in the bottom sediments of the Lower Volga and the delta of the river. *Water: chemistry and ecology*. 2010. No. 2. P. 2–10 (in Russ.).
27. Pogoda by (2017). URL: <http://www.pogoda.by/gidroarchive> (date of access: 03.08.2017).

Статья поступила в редколлегию 07.02.2018
Received by editorial board 07.02.2018

УДК 581.132

АКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОМЕЛЯ И ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛ.)

Е. Г. ТЮЛКОВА¹⁾, Л. П. АВДАШКОВА¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации»,
пр. Октября, 50, 246029, Гомель, Беларусь

Исследуется среднее содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов, а также параметры флуоресценции хлорофилла листовых пластинок древесных растений, произрастающих в техногенных и фоновых условиях (на примере промышленных предприятий г. Гомеля и Гомельской обл.). Выявлены достоверные отличия для средней концентрации фотосинтетических пигментов в техногенных и фоновых условиях; положительная достоверная корреляция между концентрацией хлорофилла *a* и *b* и отношением максимумов флуоресценции в диапазоне 670–680 нм и 700–710 нм. Исследуемые древесные растения распределены по группам с учетом максимальной интенсивности флуоресценции хлорофилла, его концентрации и индекса жизнеспособности.

Ключевые слова: техногенез; древесные растения; фотосинтез; хлорофилл *a* и *b*; флуоресценция.

ACTIVITY OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF WOOD PLANTS IN TECHNOGENIC CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF GOMEL AND GOMEL REGION)

E. G. TULKOVA^a, L. P. AVDASHKOVA^a

^a Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperation, Oktyabrya avenue, 50, 246029, Gomel, Belarus
Corresponding author: tut-3@mail.ru

The average content of chlorophyll *a*, *b* and carotenoids is investigated, as well as the chlorophyll fluorescence parameters of leaf blades of woody plants growing in the technogenic and background conditions (by the example of industrial enterprises of Gomel and Gomel regions). Significant differences were found for the average concentration of photosynthetic pigments in technogenic and background conditions, a positive significant correlation between the concentration of chlorophyll *a* and *b* and the ratio of fluorescence maxima in the range of 670–680 nm and 700–710 nm. The investigated woody plants are divided into groups according to the maximum chlorophyll fluorescence intensity, concentration and viability index.

Key words: technogenesis, woody plants, photosynthesis, chlorophyll, fluorescence.

Образец цитирования:

Тюлькова Е. Г., Авдашкова Л. П. Активность фотосинтетического аппарата древесных растений в техногенных условиях (на примере промышленных предприятий Гомеля и Гомельской обл.) // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 61–69.

For citation:

Tsiulkova E. G., Avdashkova L. P. Activity of photosynthetic apparatus of wood plants in technogenic conditions (on the example of industrial enterprises of Gomel and Gomel region). *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 61–69 (in Russ.).

Автор:

Елена Григорьевна Тюлькова – кандидат биологических наук; доцент кафедры товароведения, докторант 1-го курса кафедры общей экологии и методики преподавания биологии Белорусского государственного университета.

Людмила Павловна Авдашкова – кандидат биологических наук; доцент кафедры информационно-вычислительных систем.

Author:

Elena G. Tsiulkova, PhD (biology), associate professor; doctoral student of the 1 course of the department of general ecology and teaching methodology of biology.
tut-3@mail.ru

Ludmila P. Avdashkova, PhD (biology), associate professor of the department of information and computing systems.
avdashkova@mail.ru

Введение

Фотосинтез, как известно, имеет очень важное значение в жизни растений. В настоящее время в направлении развития методов и средств мониторинга окружающей среды мощным инструментом является анализ эффективности функционирования фотосинтетического аппарата и его адаптационных возможностей при произрастании растений в условиях техногенеза [1–6]. Это связано с тем, что фотосинтетический аппарат в первую очередь подвержен действию стрессовых факторов, и в качестве адаптивных механизмов возможна как иммобилизация уже имеющихся приспособительных процессов, так и формирование новых защитных реакций. Такие исследования могут предоставить очень важную информацию, применимую в целях экологического мониторинга и оценки устойчивости растений к техногенному воздействию [7].

Одним из способов сравнительно быстрой оценки степени токсического воздействия на растительные организмы с использованием параметров фотосинтетической активности является регистрация показателей интенсивности флуоресценции хлорофилла и определение его концентрации. Такой способ основан на том, что воздействие техногенных элементов на рост и развитие растений является причиной изменения концентрации фотосинтетических пигментов, квантового выхода флуоресценции хлорофилла, интенсивности фотохимического и нефотохимического преобразования поглощенной световой энергии. При помощи данных параметров возможно комплексно оценить состояние растения. Кроме того, перспективным направлением является накопление данных о характере изменения и интерпретации спектров флуоресценции различных растений с учетом их возрастных, физиологических особенностей и места произрастания [6; 8]. Цель исследования – выявление характера изменения спектров флуоресценции хлорофилла листовых пластинок древесных растений различных систематических групп с учетом условий их произрастания, а также концентрации хлорофилла для оценки устойчивости растений к техногенному воздействию.

Материалы и методы исследования

В качестве исследуемых объектов древесных растений выбраны береза повислая (*Betula pendula* Roth.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) как типичные и распространенные виды. Пробы листьев отбирали в окружении отдельных промышленных предприятий г. Гомеля и Гомельской обл., которые различаются спецификой промышленного производства и, соответственно, уровнем техногенного влияния на состояние атмосферного воздуха. С целью проведения сравнительной оценки концентрации фотосинтетических пигментов использовалась селитебная зона г. Гомеля, а также фоновые условия. Фоновыми условиями явилась парковая и пригородная зона г. Гомеля (смешанный лес), свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Для определения концентрации хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов, оценки интенсивности флуоресценции хлорофилла листовых пластинок древесных растений использовали спектрофлуориметр СМ 2203. С этой целью были приготовлены вытяжки из навески сырых листьев 100–150 мг в 100 % ацетоне [4].

Среднюю концентрацию хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов (использовали 10 параллельных определений) определяли по формулам 1, 2, 3 и 4:

$$C_a + C_b = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}; \quad (1)$$

$$C_a + C_b = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}; \quad (2)$$

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

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

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

Согласно литературным данным, при мониторинге состояния растительности дистанционными методами детектирование максимальных сигналов флуоресценции осуществляется в области волн 685 нм и 740 нм и оценивается как отношение *f* по формуле 5:

$$f = \frac{F_{740}}{F_{685}}, \quad (5)$$

где F_{740} и F_{685} – интенсивность флуоресценции хлорофилла зеленого листа при длинах волн 740 нм и 685 нм (отн. ед.).

Математическую обработку цифрового материала выполняли в *Excel*.

Таблица 1

Table 1

Содержание фотосинтетических пигментов в листовых пластинках древесных растений

Photosynthetic pigments content in leaf blade of woody plants

Место отбора проб				Содержание фотосинтетических пигментов, мг/л											
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)				Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)				Тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i> Roz.)				Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)			
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	каротиноиды
1 3,93±0,03	0,59±0,05	4,52±0,08	2,69±0,02	14,98±0,20	4,36±0,01	19,34±0,21	2,97±0,06	12,22±0,15	1,51±0,01	13,73±0,14	2,46±0,04	8,27±0,09	1,91±0,01	10,18±0,10	1,77±0,03
2 1,90±0,02	0,24±0,06	2,13±0,08	1,92±0,02	9,31±0,09	2,15±0,05	11,46±0,14	2,22±0,04	8,63±0,09	0,86±0,04	9,49±0,12	2,87±0,03	15,90±0,48	2,70±0,14	18,60±0,34	2,03±0,09
3 11,06±0,23	1,46±0,05	12,52±0,18	2,73±0,05	22,64±1,76	9,09±0,59	31,73±1,17	4,95±0,31	12,08±0,12	0,93±0,02	13,02±0,13	3,47±0,04	13,51±0,30	4,10±0,05	17,61±0,25	1,67±0,07
4 3,85±0,03	0,33±0,04	4,18±0,07	2,40±0,02	5,78±0,09	1,43±0,02	7,21±0,11	2,24±0,03	14,62±0,31	4,60±0,06	19,22±0,25	3,22±0,07	1,84±0,02	0,42±0,05	2,26±0,07	1,62±0,02
5 6,97±0,07	0,60±0,03	7,57±0,10	2,14±0,03	13,40±0,36	2,87±0,10	16,27±0,26	1,98±0,07	9,06±0,08	0,69±0,02	9,75±0,09	2,97±0,02	—	—	—	—
6 3,95±0,03	0,50±0,03	4,45±0,06	2,32±0,02	15,50±0,41	3,34±0,09	18,84±0,32	3,01±0,09	3,22±0,02	0,38±0,04	3,60±0,06	2,04±0,02	16,19±0,40	3,04±0,11	19,23±0,28	2,07±0,08
7 13,35±0,21	0,95±0,02	14,30±0,19	3,12±0,05	20,68±2,06	3,96±0,84	24,64±1,22	6,04±0,33	1,44±0,02	0,44±0,04	1,87±0,06	1,88±0,02	14,40±0,31	4,38±0,02	18,78±0,29	2,83±0,08
8 1,10±0,03	0,16±0,05	1,27±0,07	1,61±0,02	10,81±0,14	2,45±0,03	13,26±0,17	2,59±0,05	0,87±0,04	0,20±0,02	1,07±0,06	1,07±0,02	4,03±0,05	0,90±0,05	4,93±0,10	2,13±0,03

Примечание. 1 – ОАО «Гомельский химический завод», 2 – ОАО «Гомельдрев», 3 – ОАО «Гомельстекло», 4 – ОАО «СветлогорскХимволокно», 5 – селитебная зона (частная застройка), 6 – селитебная зона (многоэтажная застройка), 7 – парк (на территории г. Гомеля), 8 – пригород (прилегающая территория г. Гомеля).

Результаты исследования и их обсуждение

Листовой аппарат растений в силу своих морфологических особенностей (например, наличие воска на поверхности, шероховатости поверхности, пассивная диффузия загрязнителей через устьица и др.) может выступать в качестве своеобразного природного планшета, аккумулирующего загрязнение и отражающего интенсивность техногенного воздействия на экосистемы. Поэтому с помощью «листового анализа» можно различать степень загрязнения воздуха, почв, выделять источники загрязнения, определять зоны их действия, идентифицировать загрязняющие ингредиенты.

В наших исследованиях результаты отбора проб растительного материала в окружении промышленных предприятий и на фоновых территориях позволили оценить диапазон изменений концентрации хлорофилла и каротиноидов листовых пластинок древесных растений при развитии в условиях с различной степенью техногенной нагрузки (табл. 1).

Так, средняя концентрация хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов листовой пластинки исследуемых древесных растений, произрастающих на территории промышленной и селитебной зон, различается и в 90 % случаев выше по сравнению с аналогичными параметрами фоновой территории (здесь и далее для проведения сравнительной характеристики в качестве фоновой территории используется пригородная зона).

Такая тенденция характеризует направленность адаптивных изменений растений и, возможно, связана с тем, что под влиянием комплекса техногенных факторов растения способны повышать концентрацию пигментов фотосинтеза с целью компенсации стрессового состояния. При этом максимально высокая в наших исследованиях концентрация хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов, по сравнению с фоновыми значениями, наблюдалась в листовых пластинках березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.), произрастающих в окружении ОАО «Гомельстекло» (является крупнейшим промышленным предприятием по производству различных видов стекла в Республике Беларусь). Тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.) характеризуется повышенной концентрацией хлорофилла *a* и *b* вблизи ОАО «Гомельский химический завод» (это предприятие имеет самый большой объем выбросов техногенных элементов среди всех исследуемых мест произрастания растений), а липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) – хлорофилла *a* и каротиноидов в окружении ОАО «Гомельдрев».

Следует отметить, что результаты сравнения средних концентраций хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листовых пластинках древесных растений, произрастающих в городской парковой зоне и в пригороде, свидетельствуют о том, что у парковых растений содержание всех исследуемых фотосинтетических пигментов достоверно превышает аналогичные значения в пригородной зоне. Это подтверждает необходимость использования в качестве фоновой территории не городскую зону, подверженную влиянию выбросов промышленных предприятий, а пригородную территорию.

Как уже отмечалось, состояние и эффективность функционирования фотосинтетического аппарата перспективно оценивать на основании не только определения концентраций хлорофилла и каротиноидов, но и с учетом измерения флуоресцентных характеристик фотосинтетических пигментов.

В результате установлено, что исследуемые древесные растения разделились на 2 группы (рис. 1). В первую вошли береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.), которые имеют более высокую интенсивность флуоресценции в техногенных условиях; во вторую – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.), у которых хлорофилл флуоресцирует более интенсивно в фоновых условиях. При интерпретации полученных результатов учитывали, что максимальная интенсивность флуоресценции, которая зависит от интенсивности возбуждения светом и обусловлена количеством возбужденных молекул хлорофилла, отражает динамическое равновесие процесса восстановления первичного акцептора в фотосистеме 2 и его последующего окисления следующими переносчиками электронов. Таким образом, береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.) в техногенных условиях характеризуются более интенсивным восстановлением первичного акцептора электронов в фотосистеме 2 по сравнению с липой мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) и кленом остролистным (*Acer platanoides* L.), что в конечном итоге влияет на скорость протекания процесса фотосинтеза в целом.

При анализе спектров флуоресценции хлорофилла было установлено, что в отличие от литературных данных (первый максимум приходится на длину волны 680–690 нм, второй – 730–740 нм), в наших исследованиях первый максимум регистрируется в диапазоне 670–680 нм, а второй – 700–710 нм. Предположительно, это связано с использованием непосредственно не зеленого листа, а подготовкой растительных проб в виде вытяжки.

Поскольку концентрация хлорофилла в вытяжке выше, чем в сыром зеленом листе, поэтому максимумы спектров флуоресценции хлорофилла в растительной вытяжке находятся в более коротковолновой части спектра (рис. 1). Таким образом, значение *f* в работе находили по формуле 6:

$$f = \frac{F_{700-710}}{F_{670-680}}, \quad (6)$$

где $F_{700-710}$ и $F_{670-680}$ – интенсивность флуоресценции хлорофилла в вытяжке зеленого листа в диапазонах длин волн 700–710 нм и 670–680 нм (отн. ед.).

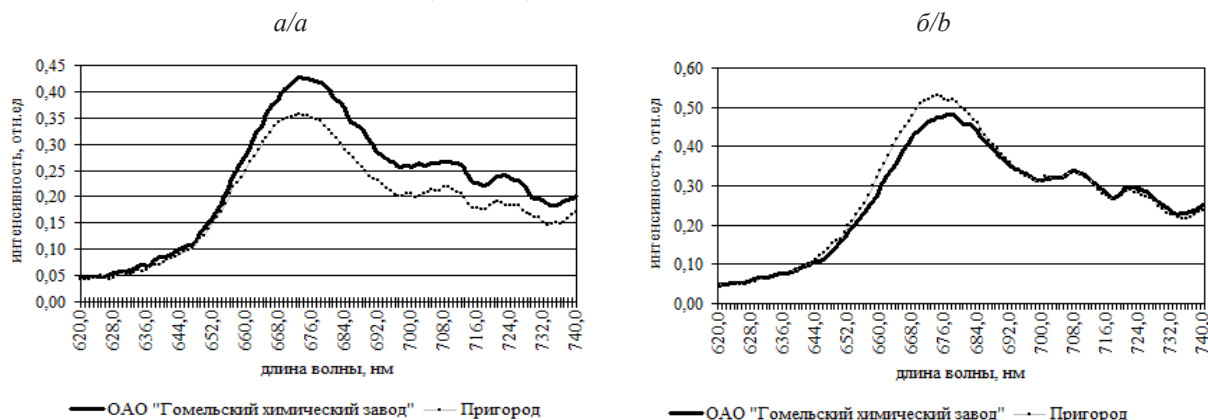


Рис. 1. Спектры флуоресценции хлорофилла листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в техногенной зоне и фоновых условиях: а – береза повислая (*Betula pendula* Roth.) (аналогично – тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.)), б – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) (аналогично – клен остролистный (*Acer platanoides* L.))

Fig. 1. Leaves chlorophyll fluorescence spectrums of silver birch (*Betula pendula* Roth.) and small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in technogenic area and background conditions: silver birch (*Betula pendula* Roth.) (similarity – poplar pyramidal (*Populus pyramidalis* Roz.)), b – small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) (similarity – norway maple (*Acer platanoides* L.))

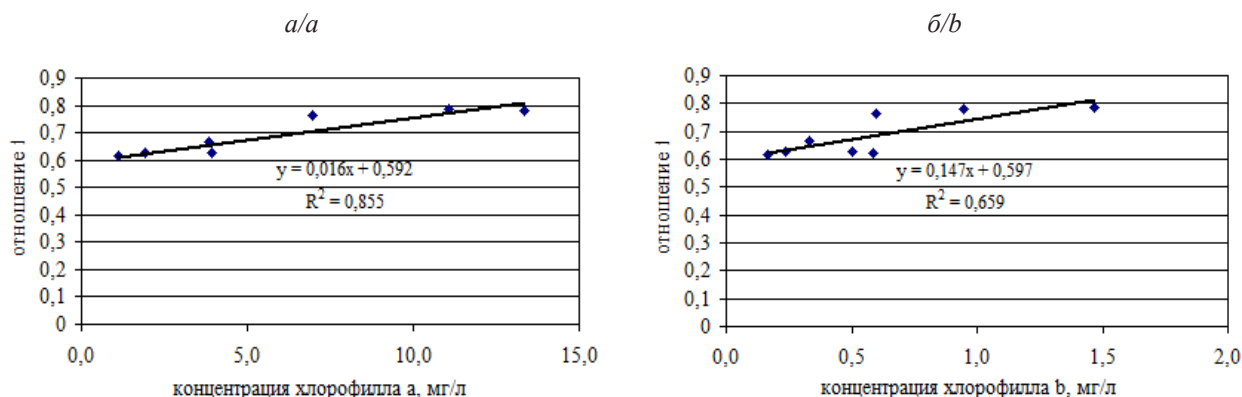


Рис. 2. Зависимость отношения f флуоресценции хлорофилла от его концентрации у березы повислой (*Betula pendula* Roth.): а – хлорофилл а, б – хлорофилл б

Fig. 2. Dependence of chlorophyll fluorescence (f) ratio from the concentration at silver birch (*Betula pendula* Roth.): а – chlorophyll а, б – chlorophyll б

В результате определения величины отношения максимумов флуоресценции проб хлорофилла и оценки зависимости между средней концентрацией хлорофилла а и б и отношением максимальных флуоресцентных сигналов отмечена прямо пропорциональная зависимость (рис. 2) и превышение значения f в техногенных условиях по сравнению с фоновыми практически во всех случаях (табл. 2).

Более высокие значения отношений максимальных флуоресцентных сигналов в техногенных условиях свидетельствуют о менее выраженных различиях между величиной первого и второго максимальных пиков по сравнению с фоновыми условиями и, следовательно, о незначительной разнице между эффективностью функционирования фотосистемы 2 (первый максимум в спектре флуоресценции в диапазоне 670–680 нм) и фотосистемы 1 (второй максимум в спектре в диапазоне 700–710 нм). Это свидетельствует о том, что фотосистема 1 и фотосистема 2 листовых пластинок исследуемых древесных растений в техногенных условиях осуществляют свои функции практически с одинаковой интенсивностью, что

позволяет растениям адаптироваться к условиям произрастания и компенсировать влияние техногенных элементов, содержащихся в выбросах промышленных предприятий.

С комплексной позиции величины концентрации хлорофилла (табл. 1) и характеристики его флуоресценции в техногенных и фоновых условиях (табл. 2) у березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и тополя пирамидального (*Populus pyramidalis* Roz.) при более низкой концентрации хлорофилла в фоновых условиях наблюдается пониженная интенсивность его флуоресценции и более высокий индекс жизнеспособности (отношение $F_{\text{макс}}/F_{\text{стац.}}$ в табл. 2). В техногенных условиях береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.) характеризуются повышенной концентрацией хлорофилла и его более интенсивной флуоресценцией, при этом индекс жизнеспособности ниже по сравнению с фоновыми условиями.

Таблица 2

Характеристика флуоресценции хлорофилла исследуемых древесных растений

Table 2

Characteristics of chlorophyll fluorescence the studied woody plants

Место отбора проб	Исследуемые древесные растения											
	береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)			клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)			тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i> Roz.)			липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)		
	F_{max}	f	$F_{\text{макс}}/F_{\text{стац.}}$	F_{max}	f	$F_{\text{макс}}/F_{\text{стац.}}$	F_{max}	f	$F_{\text{макс}}/F_{\text{стац.}}$	F_{max}	f	$F_{\text{макс}}/F_{\text{стац.}}$
1	0,426	0,624	2,33	0,374	0,795	1,77	0,411	0,747	1,94	0,482	0,699	2,11
2	0,367	0,627	2,31	0,082	0,658	2,24	0,098	0,664	2,29	0,426	0,760	1,83
3	0,324	0,788	1,86	0,281	0,896	1,59	0,283	0,818	1,84	0,402	0,783	1,92
4	0,426	0,664	2,22	0,444	0,664	2,24	0,400	0,764	1,79	0,476	0,578	2,53
5	0,276	0,761	1,86	0,386	0,743	1,93	0,393	0,740	2,02	—	—	—
6	0,471	0,628	2,39	0,358	0,795	1,83	0,457	0,620	2,44	0,432	0,771	1,84
7	0,310	0,782	1,79	0,832	0,873	1,15	0,985	0,657	1,52	0,897	0,813	1,23
8	0,357	0,614	2,45	0,426	0,724	1,99	0,339	0,610	2,45	0,529	0,637	2,45

Примечание. 1 – ОАО «Гомельский химический завод», 2 – ОАО «Гомельдрев», 3 – ОАО «Гомельстекло», 4 – ОАО «СветлогорскХимволокно», 5 – селитебная зона (частная застройка), 6 – селитебная зона (многоэтажная застройка), 7 – парк (на территории г. Гомеля), 8 – пригород (территория, прилегающая к г. Гомелю).

Липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.) в фоновых условиях имеют минимальную концентрацию хлорофилла, его максимальную флуоресценцию и более высокий индекс жизнеспособности по сравнению с техногенной зоной. В техногенных условиях при максимальной концентрации хлорофилла и его минимальной флуоресценции эти представители характеризуются пониженным индексом жизнеспособности в большинстве случаев.

Таким образом, несмотря на отдельные случаи более интенсивной флуоресценции хлорофилла в промышленной зоне, индекс жизнеспособности всех исследуемых древесных представителей ниже в техногенных условиях.

В табл. 3 представлены результаты определения коэффициентов корреляции и уравнения линейной регрессии значения (f) флуоресценции хлорофилла в зависимости от его концентрации.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что для всех исследуемых древесных растений отмечается достоверная положительная корреляция между отношением f интенсивностей флуоресценции и концентрацией хлорофилла.

Исключением явился тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.) в случае хлорофилла b . Липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) отличается максимально высокой корреляционной связью по сравнению с другими представителями; тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.) – самой низкой. Полученные уравнения регрессии могут быть использованы для оценки степени техногенного загрязнения условий произрастания растений по величине концентрации хлорофилла в исследованных пределах изменения средних значений содержания хлорофилла a и b .

Таблица 3

Коэффициенты корреляции и уравнения линейной регрессии значения (f) флуоресценции хлорофилла (Y)
в зависимости от его концентрации (X)

Table 3

Correlation coefficients and equations of linear regression f value chlorophyll fluorescence (Y)
depending on its concentration (X)

Исследуемые древесные растения	Коэффициенты корреляции		t _{st} независимой переменной		Уравнения линейной регрессии	
	хлорофилл a	хлорофилл b	хлорофилл a	хлорофилл b	хлорофилл a	хлорофилл b
береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	0,92*	0,81*	5,95	3,40	$Y = 0,592 + 0,016X *$	$Y = 0,597 + 0,147X *$
клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)	0,98*	0,82*	11,46	3,57	$Y = 0,552 + 0,015X *$	$Y = 0,655 + 0,031X *$
тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i> Roz.)	0,88*	0,51	4,44	1,43	$Y = 0,606 + 0,012X *$	$Y = 0,671 + 0,027X *$
липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	0,95*	0,97*	6,59	8,40	$Y = 0,574 + 0,014X *$	$Y = 0,583 + 0,055X *$

Примечание. Звездочкой (*) обозначены достоверные коэффициенты корреляции и уравнения регрессии при $t_{st} > t_{табл.}$ и $p \leq 0,05$. Значение $t_{табл.}$ (7) = 2,37 при $p \leq 0,05$.

Заключение

В рамках исследований проведена оценка среднего содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов, а также параметров флуоресценции хлорофилла листовых пластинок древесных растений, произрастающих в техногенных (на примере промышленных предприятий г. Гомеля и Гомельской обл.) и фоновых условиях. Выявлены достоверные отличия для средней концентрации фотосинтетических пигментов в техногенных и фоновых условиях. Установлена положительная достоверная корреляция между концентрацией хлорофилла *a* и *b* и отношением максимумов флуоресценции в диапазоне 670–680 нм и 700–710 нм; причем липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) отличается максимально высокими коэффициентами корреляции. Исследуемые древесные растения распределены в группы с учетом максимальной интенсивности флуоресценции хлорофилла, его концентрации и индекса жизнеспособности (первая группа – береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Roz.); вторая – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.). Указанные группы растений различаются адаптационной стратегией при произрастании в техногенных условиях с учетом перечисленных критериев. Кроме того, отмечены более высокие значения отношений максимальных флуоресцентных сигналов в техногенных условиях, которые свидетельствуют о менее выраженных различиях между величиной первого и второго максимальных пиков по сравнению с фоновыми условиями и, следовательно, о незначительной разнице между эффективностью функционирования фотосистемы 2 (первый максимум в спектре флуоресценции в диапазоне 670–680 нм) и фотосистемы 1 (второй максимум в спектре в диапазоне 700–710 нм). Это свидетельствует о том, что фотосистема 1 и фотосистема 2 листовых пластинок исследуемых древесных растений в техногенных условиях осуществляют свои функции практически с одинаковой интенсивностью, что позволяет растениям адаптироваться к условиям произрастания и компенсировать влияние техногенных элементов, содержащихся в выбросах промышленных предприятий.

Библиографические ссылки

1. Алиева М. Ю., Маммаев А. Т., Магомедова М. Х-М. и др. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла древесных растений в условиях различной транспортной нагрузки // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 1 (3). С. 701–704.
2. Пиняскина Е. В., Маммаев А. Т. Изучение параметров фотосинтетической активности растений в зависимости от вертикальной поясности // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 1 (3). С. 788–791.
3. Пиняскина Е. В., Маммаев А. Т., Магомедова М. Х-М. и др. Исследование фотосинтетической активности растений в зависимости от высотного градиента // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 3 (2). С. 762–764.
4. Шубина А. Г. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.), растущих в г. Тамбове // Вестник ТГУ. 2011. Вып. 1. С. 353–355.

5. Орехов Д. И., Козлов Ю. П. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла в листьях древесных растений, растущих в условиях г. Москвы // Вестник РУДН. 2010. № 4. С. 23–28.
6. Бучельников М. А. Замедленная флуоресценция хлорофилла в биоиндикации воздушных загрязнений : автореф. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Красноярск, 1998.
7. Голубева Е. И., Говорова А. Ф. Механизмы повреждения и адаптации растений при техногенном загрязнении // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 1. С. 95–100.
8. Фатеева Н. Л. Дистанционная диагностика состояния растений на основе метода лазерно-индуцированной флуоресценции : автореф. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.05. Новосибирск, 2007.

References

1. Aliev M. Yu., Mammaev A. T., Magomedova N. H-M., et al. [The study of chlorophyll fluorescence parameters of woody plants under different traffic load]. *Izvestiya Samara scientific center of RAS*. 2014. No. 1 (3). P. 701–704 (in Russ.).
2. Panaskina E. V. Mammaev A. T. [The study of plants photosynthetic activity parameters of depending on vertical zones]. *Izvestiya Samara scientific center of RAS*. 2014. No. 1 (3). P. 788–791 (in Russ.).
3. Panaskina E. V. Mammaev A. T., Magomedova N. H-M., et al. [Research plants photosynthetic activity of depending on hundreds of gradient]. *Izvestiya Samara scientific center of RAS*. 2013. No. 3 (2). P. 762–764 (in Russ.).
4. Shubina A. G. [Contents of chlorophyll and carotenoids in dandelion les drug leaves (*Taraxacum officinale*) and silver birch (*Betula pendula* Roth.), growing in Tambov]. *Vestnik TSU*. 2011. Vol. 1. P. 353–355 (in Russ.).
5. Nut D. I., Kozlov Y. P. [Study of chlorophyll fluorescence parameters in the plants leaves growing in Moscow conditions] *Bulletin of PFUR*. 2010. No. 4. P. 23–28 (in Russ.).
6. Buchelnikov M. A. [Delayed fluorescence of chlorophyll in air pollution bioindication]: author. ... kand. biol. sciences : 03.00.16. Krasnoyarsk, 1998 (in Russ.).
7. Golubeva E. I., Govorova A. F. [Mechanisms of damage and plants adaptation under technogenic pollution]. *Izvestiya of RAS. Geographical series*. 2006. No. 1. P. 95–100 (in Russ.).
8. Fateeva N. L. [Remote diagnostics of plants condition based on the method of laser-induced fluorescence] : author of ... kand. fith.-mat. sciences : 01.04.05. Novosibirsk, 2007 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 01.02.2018
Received by editorial board 01.02.2018

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 632.15:631.4

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПОЧВЕННО-РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО¹⁾

*¹⁾Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии»
НАН Беларуси, ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Беларусь*

На основе комплексной оценки почвенных и радиологических факторов выделено 4 группы районов по степени радиоэкологической напряженности территории. Первую группу представляют 29 районов с низкой степенью напряженности территории, вторую группу – 9 районов со средней степенью, третью группу – 11 районов с высокой степенью и четвертую группу – 8 районов с очень высокой степенью радиоэкологической напряженности территории. Оптимизация системы радиационной защиты населения, поэтапный переход территорий радиоактивного загрязнения от ситуации аварийного облучения к ситуации существующего послеаварийного облучения должны осуществляться дифференцированно, в зависимости от группы районов.

Ключевые слова: оценка; радиоактивное загрязнение; почвы; риски; районирование.

Образец цитирования:

Цыбулько Н. Н. Районирование территории радиоактивного загрязнения Беларуси на основе комплексной почвенно-радиологической оценки // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 69–75.

For citation:

Tsybulka M. M. Zoning of the territory of radioactive contamination of Belarus based on the integrated soil-radiological evaluation. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 70–75 (in Russ.).

Авторы:

Николай Николаевич Цыбулько – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; заместитель директора по научной работе.

Authors:

Mikalai M. Tsybulka, doctor of science (agriculture), associate professor; deputy director for science.
nik.nik1966@tut.by

ZONING OF THE TERRITORY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF BELARUS BASED ON THE INTEGRATED SOIL-RADIOLOGICAL EVALUATION

M. M. TSYBULKA^a

^aRepublican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise The Institute for Soil Science and Agrochemistry,
Kazinets street, 90, 220108, Minsk, Belarus

Based on a comprehensive evaluation of soil and radiological factors, four groups of regions were identified according to the degree of radioecological tension of the territory. The 1st group consists of 29 low-intensity areas, the 2nd group comprises 9 medium-sized districts, the 3rd group includes 11 high-grade areas and the 4th group – 8 regions with very high radioecological intensity of the territory. The optimization of the radiation protection system of the population, the phased transition of radioactive contamination areas from the situation of emergency irradiation exposure to the situation of the existing post-accident irradiation should be carried out differentially according to the group areas.

Key words: assessment, radioactive contamination, soils, risks, zoning.

Введение

Работы по районированию территорий с целью комплексной оценки радиоэкологической опасности и рисков в контексте управления радиационной безопасностью до настоящего времени не выполнялись. Создаваемые карты радиоактивного загрязнения территории (прогнозные карты в виде атласов) характеризуют только плотность загрязнения территории радионуклидами.

Под районированием понимается процесс многофакторного деления территории на множество непересекающихся целостных районов, представляющих собой компактные сгущения некоторых исходных ячеек (точек) [1]. Выделяют ряд принципов районирования: объективности, генетической общности, непрерывности, относительной однородности единиц районирования, территориальной целостности, а также сравнимости результатов, первоочередности учета универсальных законов.

Разновидностями экологического районирования является ландшафтное (ландшафтно-географическое), природно-хозяйственное (критерии – природный и ресурсный потенциал) и эколого-экономическое (критерий – уровень воздействия, соотнесенный с потенциалом устойчивости среды) районирования [2].

Существуют многочисленные варианты экологического районирования с учетом одного и нескольких факторов загрязненности отдельных природных компонентов [3], включая выделение районов по наличию каких-либо значимых для жизнедеятельности ресурсов и условий окружающей среды (природно-хозяйственное районирование); районирование по характеру и степени изменения природной среды; эколого-экономическое районирование, рассматривающее масштабы и характер воздействия, соотнесенные с потенциалом устойчивости среды; геосистемное районирование, определяющее природную среду как ресурс развития и реципиент всех видов экономического развития.

В зависимости от критериев выделяют несколько подходов к экологическому районированию [4]: природно-хозяйственное районирование (критерий природно-ресурсный потенциал); эколого-экономическое районирование (критерий – уровень воздействия, соотнесенный с потенциалом устойчивости среды); экологическое районирование (критерии – уровень экологической напряженности, индекс антропогенной нагрузки); районирование природных опасностей и рисков (критерий – количественная оценка природных опасностей и рисков); медико-экологическое районирование (критерий – суммарная оценка здоровья населения, медико-экологические индикаторы качества окружающей среды).

Для целей эффективного ведения аграрного производства выделяется природно-сельскохозяйственное, почвенно-экологическое, агроландшафтное, почвенно-генетическое и почвенно-технологическое районирования [5–7].

В Беларуси проведено почвенно-географическое районирование территории республики, которое наиболее полно отражает особенности природной среды отдельных областей и районов на основе учета климатических и ландшафтных условий, характера почвенного покрова. Выделено 3 почвенные провинции – северная, центральная и южная (полесская), 7 – почвенно-климатических округов, 20 – агропочвенных районов [8].

Разработано природно-сельскохозяйственное районирование Беларуси, которое основано на других видах районирования (почвенно-географическом, агроклиматическом, геоморфологическом и ландшафтном). В данном районировании выделены 3 природно-сельскохозяйственные провинции (Северная, Центральная, Южная), 9 округов и 73 природно-сельскохозяйственных района [9].

Развитие почвенно-экологического районирования территории Беларуси связано с работами, проводимыми в Институте почвоведения и агрохимии. Его основные цели заключаются в решении вопросов совершенствования зональной и внутрихозяйственной специализации сельскохозяйственного производства, адаптации земледелия и агротехнологий к конкретным почвенным условиям и разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия [10].

Методические подходы и принципы комплексной почвенно-радиологической оценки и районирования территории радиоактивного загрязнения

При разработке государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС большой научно-практический интерес представляют анализ и оценка состояния территории радиоактивного загрязнения. Одним из способов комплексной (интегральной) оценки радиоэкологического состояния загрязненных радионуклидами территорий предлагается почвенно-радиологическое районирование.

Под *почвенно-радиологическим* районированием понимается способ деления территории радиоактивного загрязнения по характеру взаимодействия экологических факторов, с одной стороны, состава и степени загрязнения почв радионуклидами, а с другой – компонентного состава и удельного веса почв, их свойств и плодородия [11].

Радиоэкологический подход к исследованию территории ориентирован на системное изучение прямых, обратных и опосредованных связей между радиоактивным загрязнением, его воздействием и связанными с ним радиационными рисками. Основу данного районирования составляет рассмотрение территориальной неоднородности, выраженной в виде ранжирования территорий по степени радиоэкологической напряженности или радиационных рисков. Его цель – выявление территориальной дифференциации и интеграции отдельных территорий (районов) со специфическим взаимодействием почвенных и радиологических факторов. Районирование предполагает выделение типологических единиц с различным характером и уровнем радиоактивного загрязнения территории и степенью его влияния на хозяйственную деятельность и проживающее население.

Почвенно-радиологическое районирование позволяет рассматривать территорию радиоактивного загрязнения и ее почвенный покров как целостную экологическую систему. Такое районирование определяется как интегральное, поскольку базируется на анализе и обобщении радиоэкологических проблем и их территориальных сочетаний – ситуаций разной степени рисков (напряженности).

Пространственные различия в характере и уровнях загрязнения радионуклидами и особенностях почвенного покрова территории радиоактивного загрязнения обуславливают пространственную дифференциацию радиационной обстановки, количественных параметров поступления радионуклидов в пищевые продукты, продукцию сельского и лесного хозяйства и, соответственно, дозовых нагрузок.

Следовательно, почвенно-радиологическое районирование раскрывает закономерности распределения природных почвенных условий и техногенного радиационного фактора, их взаимодействие и проявление в определенных территориальных единицах.

Основное предназначение почвенно-радиологического районирования – создание пространственной экспертной и информационно-аналитической базы о складывающейся радиоэкологической ситуации на территории радиоактивного загрязнения на региональном и локальном уровнях, выделение районов с разными радиационными рисками.

Почвенно-радиологическое районирование территории радиоактивного загрязнения необходимо при прогнозировании, планировании и принятии решений об управлении ситуацией и рисками на разных уровнях, реализации практических мероприятий:

- для обоснования стратегий и мероприятий по управлению территориями радиоактивного загрязнения в отдаленный период после катастрофы на Чернобыльской АЭС и поэтапного перехода их от ситуации аварийного облучения к обстановке существующего послеаварийного облучения населения;
- для прогнозирования радиоэкологической ситуации и оценки рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением допустимых уровней при оптимизации системы радиационной защиты населения;
- при оценке эффективности защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве, обосновании их видов и объемов в пределах районов;
- при изменении специализации аграрного производства с целью повышения эффективности использования почвенно-земельных ресурсов как одного из условий устойчивого экономического развития пострадавших регионов.

Изучение опыта почвенных районирований в Беларуси и странах ближайшего зарубежья свидетельствует, что оно должно строиться в единой для всей территории системе соподчиненных таксономических единиц, отображающих объективно существующие природно-производственные комплексы разных рангов.

В качестве типологической единицы районирования выбран административный район. Из общепринятых в картографировании вариантов выбора таксономических единиц приоритет в работе отдан территориально-административному делению, поскольку на уровне административных районов имеются необходимые фондовые материалы длительных регулярных наблюдений радиационной обстановки, результаты радиологического и агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель, многолетние данные загрязнения радионуклидами продукции, производимой в аграрном секторе и личных подсобных хозяйствах, данные средних годовых доз облучения населения в разрезе населенных пунктов, почвенные карты, карты радиоактивного загрязнения и другие материалы. В разрезе административных единиц имеются оцифрованные картографические основы, что дает возможность проведения районирования на разных уровнях административного деления. Планирование мероприятий государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, мер радиационной защиты населения и защитных мероприятий в аграрном производстве, их практическая реализация осуществляется республиканскими органами государственного управления, местными исполнительными и распорядительными органами в пределах административно-территориальных образований. Агрегирование информации также производится в разрезе административных единиц.

Радиационная обстановка на загрязненной радионуклидами территории характеризуется комплексом параметров, получаемых при проведении радиоэкологического мониторинга и контроля. Поэтому представляется целесообразным выбрать из многочисленных показателей те, которые, во-первых, определяют радиационные риски производства продукции с превышением нормативных требований и, во-вторых, необходимы при планировании и осуществлении радиационной защиты населения, оценки эффективности защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве, обоснования их видов и объемов в пределах выделяемых районов, а также с целью оптимизации аграрного землепользования.

В основу методики почвенно-радиоэкологического районирования положен картографо-аналитический подход, базирующийся на комплексной информационно-аналитической оценке территории с применением ГИС-технологий и использованием почвенных карт разного масштаба, карт радиоактивного загрязнения территории Республики Беларусь, областей и районов, данных радиологического и агрохимического обследования сельскохозяйственных земель (экспликация), других картографических и информационно-аналитических материалов [12].

Почвенно-радиоэкологическое районирование базируется на двух основных факторах – радиологическом и почвенном. По каждому фактору определены критерии – показатели, характерные для всей территории радиоактивного загрязнения, а также свойственные данному району. Для целей районирования выделены критерии, непосредственно измеряемые в полевых условиях, и критерии, полученные из измеряемых характеристик по определенным формулам. Показатели базируются на существующей статистической, мониторинговой и кадастровой информации по каждому административному образованию.

К радиологическим показателям, определяющим степень радиоактивного загрязнения территории или степень радиоэкологической нагрузки, которые непосредственно измеряются в полевых условиях, относятся (рис.):

- площади и удельный вес в составе сельскохозяйственного землепользования земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 1–40 Ки/км² и ^{90}Sr с плотностью 0,15–3,0 Ки/км²;
- площади и удельный вес в составе сельскохозяйственного землепользования земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 5 Ки/км² и выше и ^{90}Sr с плотностью 0,30 Ки/км² и выше.

Районы отличаются определенным компонентным составом почв разного генезиса и, соответственно, их свойствами, обуславливающими экологическую неустроенность. Выделяются почвенные показатели, которые непосредственно или косвенно влияют на интенсивность перехода радионуклидов из почвы в растения и конечную продукцию, а также показатели, влияющие на перераспределение радионуклидов в агроландшафтах. Они включают: генетическую принадлежность почв; степень увлажнения (гидроморфизма) почв; гранулометрический состав почв; степень эродированности почв.

На основании вышеперечисленных показателей проводится комплексная оценка радиоэкологической ситуации, рассматриваемая как территориальное сочетание радиологических и почвенных факторов, определяющих радиационную обстановку, радиационные риски (вероятности) производства пищевых продуктов, сельскохозяйственной продукции и сырья с превышением гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов и дозовые нагрузки на население на определенной территории [13–15].

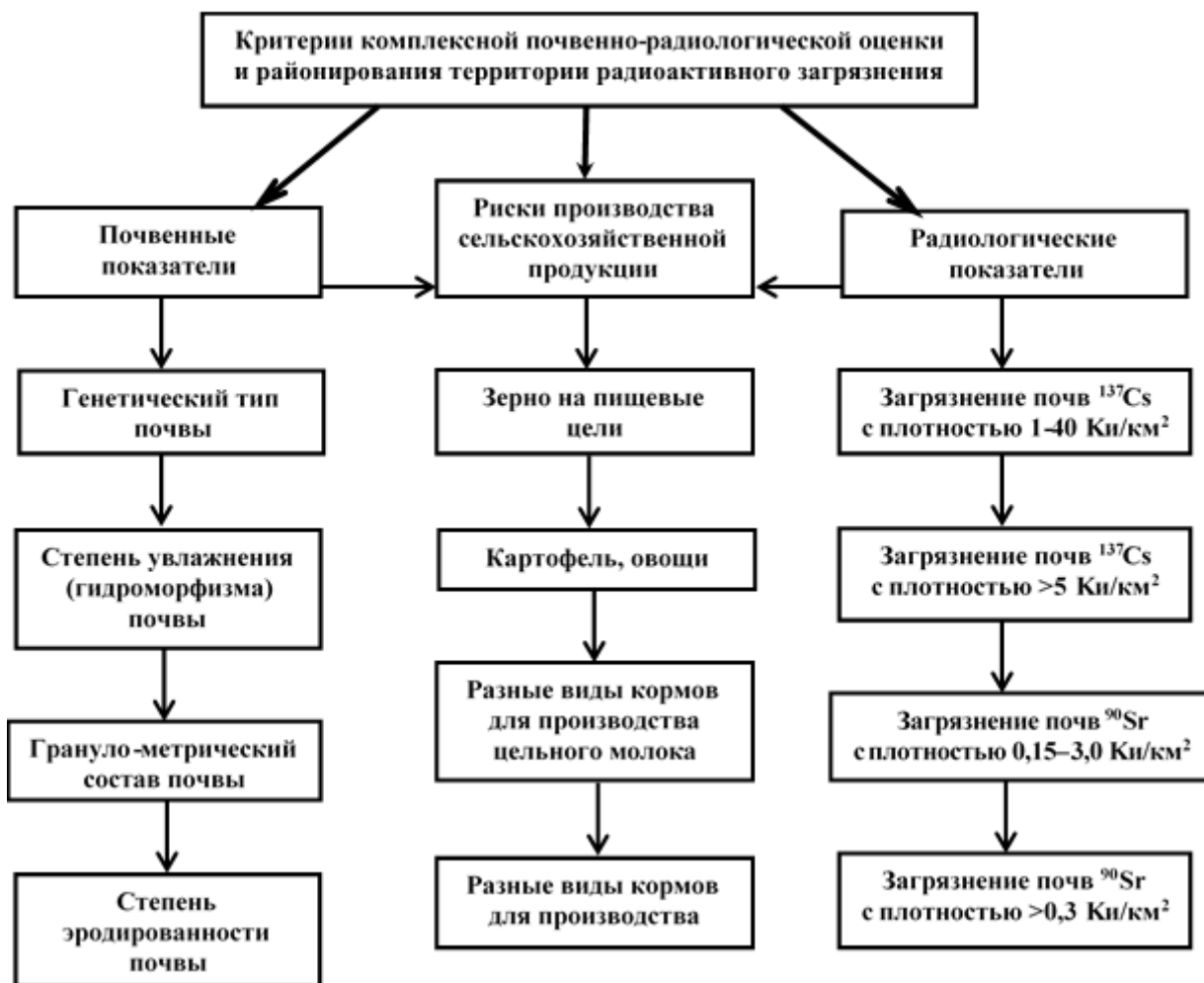


Рис. Перечень показателей для комплексной оценки и почвенно-радиологического районирования

Fig. The list of indicator complex estimation and soil-radiological zoning

Под радиационными рисками понимается присутствие радионуклидов, которые могут оказать вредное воздействие на здоровье людей в результате производства и потребления пищевых продуктов со сверхнормативным их содержанием. На основе измеряемых характеристик рассчитываются показатели, которые определяют прогнозные риски производства основных видов растениеводческой продукции (зерно, картофель, овощи) на пищевые цели и кормов для получения основных видов продукции животноводства (молоко, мясо) с содержанием ^{137}Cs и ^{90}Sr , превышающим установленные нормативы.

Алгоритм комплексной почвенно-радиологической оценки и районирования включает:

- формирование электронных обновляемых индивидуальных баз данных (подбаз) для каждого из выбранных критериев районирования;
- анализ индивидуальных подбаз данных и ранжирование районов по каждому из выбранных критериев, их визуализация с составлением индивидуальных картодиаграмм;
- ранжирование районов по сумме почвенно-радиологических факторов с визуализацией в виде синтезированной картодиаграммы;
- формирование электронных обновляемых индивидуальных баз данных прогнозных оценок рисков (вероятности превышения) производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции с содержанием радионуклидов, превышающим допустимые нормативы;
- расчеты рисков превышения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в разных видах продукции в разрезе административных районов;
- группировка административных районов по уровням радиоэкологической напряженности (остроте радиоэкологической ситуации) на основе радиационных рисков;

• ГИС-ранжирование и районирование территории по уровню радиоэкологической напряженности и рисков.

Комплексная оценка радиоэкологической ситуации основана на анализе территориальных сочетаний радиологических и почвенных факторов, характере и интенсивности их проявления, обуславливающих риски (вероятности) производства сельскохозяйственной продукции с содержанием радионуклидов, превышающим допустимые нормативы, а также лимитирующие эффективное землепользование. Для комплексной оценки районов на основе радиологических и почвенных факторов применена шкала балльной оценки (табл.).

Таблица

Балльная оценочная шкала

Table

Mark rating scale

Показатель	Диапазон изменения показателя	Балл
1. Удельный вес в составе землепользования района земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs 1–40 Ки/км ² , %	Отсутствуют	0
	До 10	1
	11–25	2
2. Удельный вес в составе землепользования района земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr 0,15–3,0 Ки/км ² , %	26–50	3
	Более 50	4
3. Удельный вес земель, загрязненных ^{137}Cs 5–40 Ки/км ² , от общей площади таких земель, %	Отсутствуют	0
	До 1,0	1
	1,1–5,0	2
4. Удельный вес земель, загрязненных ^{90}Sr 0,3–3,0 Ки/км ² , от общей площади таких земель, %	5,1–10,0	3
	Более 10,0	4
5. Удельный вес почв, характеризующихся высокими параметрами перехода радионуклидов в растения, %	Отсутствуют	0
	До 5,0	1
	5,1–10,0	2
	10,1–15,0	3
	Более 15	4

Сущность оценки состоит в том, что каждый диапазон значений анализируемых показателей выражался в баллах. Балльная шкала изменялась от 0 до 4. Балл 0 присваивался при отсутствии земель в соответствии с принятыми критериями, низший балл (1) отражал наименьший диапазон изменения показателя, высший балл (4) – максимальный диапазон.

Заключение

Таким образом, комплексная почвенно-радиологическая оценка и районирование территории радиоактивного загрязнения – способ разделения этой территории на основе анализа территориальных сочетаний радиологических и почвенных условий, характере и интенсивности их проявления, обуславливающих риски (вероятности) производства сельскохозяйственной продукции с превышением гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов, и лимитирующие эффективное землепользование. Основу данного районирования составляет рассмотрение территориальной неоднородности, выраженной в виде ранжирования территорий по степени радиоэкологической напряженности или радиационных рисков с целью выявления территориальной дифференциации и интеграции отдельных территорий (районов) со специфическим взаимодействием почвенных и радиологических факторов.

Радиационная обстановка на территории радиоактивного загрязнения характеризуется комплексом параметров. Наиболее информативными и важными для оценки являются показатели, которые определяют радиационные риски производства продукции с превышением нормативных требований, а также параметры, необходимые при планировании и осуществлении радиационной защиты населения, оценки эффективности защитных мер, обоснования их видов и объемов в пределах районов, оптимизации аграрного землепользования.

Библиографические ссылки

1. Блануца В. И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы. Новосибирск, 1993.
2. Кочуров Б. И., Антипова А. В., Назаревский Н. В. и др. Районирование территории России по степени экологической напряженности // Известия РАН. Сер. географ. 1994. № 1. С. 119–125.

3. Битюкова В. Р. Эколого-экономическое районирование как важнейшая часть социально-экологических исследований урбанизированных территорий // Ученые записки. 1998. Вып. 3. С. 20–132.
4. Мусихина Т. А. Комплексная оценка и районирование экологической опасности и управление экологической безопасностью регионов России: автореф. дис... д-ра геогр. наук: 25.0036. М., 2011.
5. Молчанов Э. Н., Рожков В. А., Карманов В. И. и др. Природно-сельскохозяйственное районирование земель для целей их рационального использования и охраны // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения: сб. науч. тр. РАСХН. М., 2003. С. 195–205.
6. Лебедева И. И., Овечкин С. В., Королук Б. И. и др. Почвенно-генетическое районирование: принципы, задачи, структура, приложение // Почвоведение. 2012. № 7. С. 715–727.
7. Медведев В. В. Концепция и методика почвенно-технологического районирования // Почвоведение. 2009. № 8. С. 899–910.
8. Почвы Белорусской ССР / под ред. чл.-корр. АН БССР Т. Н. Кулаковской, акад. АН БССР П. П. Рогового и канд. с.-х. наук Н. И. Смеяна. Минск, 1974.
9. Качков Ю. П., Башкинцева О. Ф., Яцукно В. М. Природно-сельскохозяйственное районирование на современном этапе // Земля Беларуси. 2006. № 1. С. 15–20.
10. Смеян Н. И. Совершенствование специализации сельскохозяйственного производства на основе почвенно-экологического районирования // Почвоведение и агрохимия. 2007. № 2 (39). С. 15–27.
11. Цыбулько Н. Н. Комплексная почвенно-радиологическая оценка и районирование территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь // Сільськогосподарська та лісова радіологія – 30 років після Чорнобилю : Тези доповідей Міжнарод. конф., Київ, 3 черв. 2016 р. Київ, 2016. С. 27.
12. Цыбулько Н. Н., Черныш А. Ф. Типология загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г.: в 2 т. Минск, 2016. Т. 2. С. 66–69.
13. Цыбулько Н. Н., Мисючик А. А. Научно-методологические аспекты агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель в условиях радиоактивного загрязнения // Сахаровские чтения 2009 года: экологические проблемы XXI века : материалы 9-й междунар. науч. конф., Минск, 21–22 мая 2009 г. Минск, 2009. С. 237.
14. Цыбулько Н. Н., Мисючик А. А. Группировка сельскохозяйственных земель по степени загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства : материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26–30 июля 2010 г.: в 2 ч. Минск, 2010. Ч. 2. С. 152–154.
15. Цыбулько Н. Н., Мисючик А. А. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель Республики Беларусь // Природопользование: экология, экономика, технологии : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 6–8 окт. 2010 г. Минск, 2010. С. 308–312.

References

1. Blantsa V. I. Integralnoye ekologicheskoye rayonirovaniye: kontseptsiya i metody. Novosibirsk, 1993 (in Russ.).
2. Kochurov B. I., Antipova A. V., Nazarevsky H. V., et al. Rayonirovaniye territorii Rossii po stepeni ekologicheskoy napryazhenosti. *Izvestiya RAN. Ser. geograf.* 1994. No. 1. P. 119–125 (in Russ.).
3. Bityukova V. R. Ekologo-ekonomicheskoye rayonirovaniye kak vazhneyshaya chast sotsialno-ekologicheskikh issledovaniy urbanizirovannykh territoriy. *Uchenyye zapiski.* 1998. Vol. 3. P. 20–132 (in Russ.).
4. Musikhina T. A. Kompleksnaya otsenka i rayonirovaniye ekologicheskoy opasnosti i upravleniye ekologicheskoy bezopasnostyu regionov Rossii: avtoref. dis... d-ra geogr. nauk: 25.0036. Moscow, 2011 (in Russ.).
5. Molchanov E. N., Rozhkova V. A., Karmanov V. I., et al. Prirodno-selskokhozyaystvennoye rayonirovaniye zemel dlya tseley ikh ratsionalnogo ispolzovaniya i okhrany. *Pochvovedeniye: aspekty, problemy, resheniya*: Sb. nauchnykh trudov RASKhN. Moscow, 2003. P. 195–205 (in Russ.).
6. Lebedeva I. I., Ovechkin S. V., Koroljuk T. V., et al. Pochvenno-geneticheskoye rayonirovaniye: printsipy, zadachi, struktura, prilozheniye. *Pochvovedeniye.* 2012. No. 7. P. 715–727 (in Russ.).
7. Medvedev V. V. Kontseptsiya i metodika pochvenno-tekhnologicheskogo rayonirovaniya. *Pochvovedeniye.* 2009. No. 8. P. 899–910 (in Russ.).
8. Pochvy Belorusskoy SSR / Pod red. chl.-korr. AN BSSR T.N. Kulakovskoy, akad. AN BSSR P.P. Rogovogo i kand. s.-kh. nauk N. I. Smeyana. Minsk, 1974 (in Russ.).
9. Kachkov Yu. P., Bashkintseva O. F., Yatsukhno V. M. Prirodno-selskokhozyaystvennoye rayonirovaniye na sovremennom etape. *Zemlya Belarusi.* 2006. No 1. P. 15–20 (in Russ.).
10. Smeyan N. I. Sovershenstvovaniye spetsializatsii selskokhozyaystvennogo proizvodstva na osnove pochvenno-ekologicheskogo rayonirovaniya. *Pochvovedeniye i agrokhimiya.* 2007. No. 2 (39). P. 15–27 (in Russ.).
11. Tsybulka N. N. Kompleksnaya pochvenno-radiologicheskaya otsenka i rayonirovaniye territorii radioaktivnogo zagryazneniya Respubliki Belarus. // *Silskogospodarska ta lisova radiologiya – 30 rokiv pislya Chornobilyu* : tezi dopovidey Mizhnar. konf.; Kiiv, 3 cherv. 2016 r. Kiiv, 2016. P. 27 (in Russ.).
12. Tsybulka N. N., Chernysh A. F. Tipologiya zagryaznennykh radionuklidami selskokhozyaystvennykh zemel. *Problemy ratsionalnogo ispolzovaniya prirodnnykh resursov i ustoychivoye razvitiye Polesya* : materialy Mezhdunar. nauch. konf.; Minsk, 14–17 sent. 2016 g.: v 2 t. Minsk, 2016. T. 2. P. 66–69 (in Russ.).
13. Tsybulka N. N., Misyuchik A. A. Nauchno-metodologicheskiye aspekty agroekologicheskoy otsenki selskokhozyaystvennykh zemel v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya. *Sakharovskiy chteniye 2009 goda: ekologicheskkiye problemy XXI veka* : materialy 9-y mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 21–22 maya 2009 g. Minsk, 2009. P. 237 (in Russ.).
14. Tsybulka N. N., Misyuchik A. A. Gruppировка selskokhozyaystvennykh zemel po stepeni zagryazneniya ^{137}Cs i ^{90}Sr . *Plodородiye pochv – osnova ustoychivogo razvitiya selskogo khozyaystva* : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. i IV syezda pochvovedov, Minsk, 26–30 iyulya 2010 g.: v 2 ch. Minsk, 2010. Ch. 2. P. 152–154 (in Russ.).
15. Tsybulka N. N., Misyuchik A. A. Radioekologicheskaya otsenka selskokhozyaystvennykh zemel Respubliki Belarus. *Prirodopolzovaniye: ekologiya, ekonomika, tekhnologii* : materialy Mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 6–8 okt. 2010 g. Minsk, 2010. P. 308–312 (in Russ.).

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 633.112:9«324»:631.559:632.952

ВЛИЯНИЕ ФУНГИЦИДОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО СОРТА ДИНАМО

В. Н. БУШТЕВИЧ¹⁾, Е. И. ПОЗНЯК¹⁾, М. А. ДАШКЕВИЧ¹⁾, Н. М. ПЕТРЕНКО¹⁾, В. А. БАНДАРЧУК¹⁾

¹⁾Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,
ул. Тимирязева, 1, 222162, Жодино, Беларусь

Представлены результаты исследований по изучению влияния различных фунгицидов на продуктивность тритикале озимого сорта *Динамо*. Установлено, что применение фунгицидов способствовало уменьшению развития болезней и увеличивало плотность продуктивного стеблестоя на 12,2–12,8 %, число зерен в колосе на 3,7–11,4 %, массу 1000 зерен на 2,6–7,8 %. Это обеспечило прибавку урожайности на 8,8–15,1 %. Наибольшими данные показатели были при использовании в стадии ДК 31 тилт турбо (1,0 л/га), ДК 41 амистар трио (0,75 л/га), ДК 60 мена (0,5 л/га).

Образец цитирования:

Буштевич В. Н., Позняк Е. И., Дашкевич М. А., Петренко Н. М., Бандарчук В. А. Влияние фунгицидов на элементы структуры и урожайность зерна тритикале озимого сорта *Динамо* // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 76–80.

For citation:

Bushtewich V. N., Pazniak E. I., Dashkevitch M. A., Petrenko N. M., Bondarchuk V. A. Influence of fungicides on the elements of structure and crop productivity of grain triticale of winter variety *Dynamo*. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 77–80 (in Russ.).

Авторы:

Виктор Николаевич Буштевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий лабораторией тритикале.
Елена Ивановна Позняк – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории тритикале.
Михаил Аркадьевич Дашкевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории тритикале.
Наталья Михайловна Петренко – младший научный сотрудник лаборатории тритикале.
Валентина Алексеевна Бандарчук – агроном.

Authors:

Victor N. Bushtewich, PhD (agriculture), associate professor, head of the triticale laboratory.
triticale@tut.by
Elena I. Pazniak, PhD (agriculture); senior researcher. of the triticale laboratory
elena.pazniak@tut.by
Michail A. Dashkevitch, PhD (agriculture), associate professor; senior researcher of the triticale laboratory.
mir2909qgmail.ru
Natalia M. Petrenko, junior researcher of the triticale laboratory.
mir2909qgmail.ru
Valentina A. Bondarchuk, agriculturist.
mir2909qgmail.ru

Ключевые слова: тритикале озимое; фунгициды; мучнистая роса; урожайность зерна; элементы структуры урожая; количество продуктивных стеблей; число зерен в колосе; масса 1000 зерен.

INFLUENCE OF FUNGICIDES ON THE ELEMENTS OF STRUCTURE AND CROP PRODUCTIVITY OF GRAIN TRITICALE OF WINTER VARIETY DYNAMO

V. N. BUSHTEWICH^a, E. I. PAZNIAK^a, M. A. DASHKEVITCH^a, N. M. PETRENKO^a, V. A. BONDARCHUK^a

^aRepublican unitary enterprise «Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming», Timiriyazeva street, 1, 222160, Zhodino, Belarus

Corresponding author: triticale@tut.by

The results of studies on the effect of various fungicides on the productivity of the triticales of the winter strain *Dynamo* are presented. It was found that the use of fungicides contributed to a reduction in the development of diseases and increased the density of productive stems by 12,2–12,8 %, the number of grains in the ear is 3,7 to 11,4 %, the weight of 1000 grains is 2,6 to 7,8 %. This ensured an increase in yield by 8,8–15,1 %. These indicators were the highest when using 31 tilt turbo (1,0 l / ha), DK 41 amistar trio (0,75 l / ha), DK 60 menar 90,5 l / ha) in the DC stage.

Key words: winter triticales, fungicides, powdery mildew, grain yield, elements of the crop structure, the number of productive stems, the number of grains in the ear, the mass of 1000 grains.

Введение

Тритикале за довольно короткий срок (с 1990 г.) стало одной из основных зернофуражных культур Беларуси. В настоящее время ее урожайность успешно конкурирует с другими озимыми зерновыми. В 2014–2016 гг. тритикале в структуре посевных площадей озимых занимало 37,3–38,7 % [1].

Данная культура еще относительно недавно была практически устойчивой к основным болезням. В настоящее время, в связи с расширением посевных площадей тритикале и ухудшением фитопатологической ситуации, оно подвержено ряду листостебельных болезней, которые приводят к значительному снижению урожайности зерна и ухудшению его качества.

Одной из наиболее распространенных болезней тритикале озимого в условиях Республики Беларусь является мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC) Speer.), которая относится к числу крайне вредоносных, особенно когда проявляется на ранних стадиях развития растений. Возбудитель мучнистой росы – это облигатный паразит, который встречается на растении в виде белого мучнистого, а затем паутинистого налета – мицелия, образующего многочисленные конидии, с помощью которых происходит распространение инфекции. Позднее налет буреет, на нем появляются почти черные плодовые тела – клейстотеции. Созревающие в них аскоспоры также инфицируют различные части незараженных растений [2; 3].

При сильном распространении мучнистой росы на всходах отмечается изреживание посевов, вследствие гибели растений [4]. Значительное поражение нижнего яруса листьев в фазу кущения приводит к сокращению количества продуктивных стеблей и снижению урожайности зерна от 10–15 % до 30–35 % [5–7]. При появлении мучнистой росы в посевах тритикале в период налива зерна происходит снижение продуктивности растений за счет уменьшения массы 1000 зерен [2]. Поэтому при разработке технологии возделывания тритикале озимого необходимо применять такую систему использования фунгицидов, которая бы позволила защитить культуру в течение всего периода вегетации.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в селекционном севообороте «Перемежное» РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию».

Почва опытного поля дерново-подзолистая, легкосуглинистая, развивающаяся на средних супесях, подстилаемых с глубины 0,7-метровой мореной. Предшественник тритикале озимого – горох. Норма высева всхожих семян – 4,5 млн/га. Агрохимические показатели пахотного горизонта: гумус – 2,1–2,3 %. подвижный P_2O_5 – 260–340 мг, обменный K_2O – 200–300 мг на 100 г почвы, pH_{KCl} – 5,8–6,2.

Площадь делянок 10 м². Повторность – четырехкратная. Объектом исследования являлся сорт тритикале озимого *Динамо*.

Обработку почвы, внесение фосфорных, калийных удобрений и гербицидов проводили согласно отраслевому технологическому регламенту [8]. Весной, после возобновления вегетации, вносили азотные удобрения в дозе 60 кг д. в./га и по 30 кг д. в./га в фазу начала выхода в трубку и в фазу появления флагового листа. Фунгициды на посевах тритикале озимого применяли в соответствии со схемой опыта: 1 – контроль без внесения фунгицидов; 2 – тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31); 3 – тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31) + амистар трио, КЭ 1,0 л/га (ДК 60); 4 – тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31) + амистар трио, КЭ 0,75 л/га (ДК 41) + менара, КЭ 0,5 л/га (ДК 60).

В период вегетации проводили оценку растений по устойчивости к мучнистой росе путем осмотра листьев у 25 растений. Степень поражения каждого листа мучнистой росой определяли в процентах [9].

Анализ структуры урожая и массы 1000 зерен проводили по общепринятым методикам [10].

Погодные условия в годы исследований существенно различались. Так, вегетационный период 2014–2015 гг. был экстремальным. Июньская засуха 2015 г. (количество осадков по декадам 0–11 % от нормы) оказала негативное влияние на величину урожайности тритикале, поскольку она пришлась на период налива зерна. Условия вегетационного периода 2016–2017 гг. были наиболее оптимальными для роста и развития растений: относительно невысокая температура воздуха и повышенное количество влаги в период вегетации способствовали формированию высокой урожайности и массы 1000 зерен.

Результаты исследования и их обсуждение

При сравнении влияния изучаемых фунгицидов на развитие болезни установлено, что в среднем процент поражения поверхности флагового и подфлагового листьев сорта *Динамо* мучнистой росой (ДК 77) был самым высоким в контрольном варианте и составил в 2015 г. – 6,9 и 17,9 % и в 2017 г. – 3,2 и 7,6 %, при экономическом пороге развития болезни 5–15 % (в среднем на листе) [11]. При однократном применении фунгицида тилт турбо (1 л/га) степень поражения листа в среднем составила в годы исследований – 4,7 и 2,3 %. В посевах тритикале озимого при 2- и 3-кратной фунгицидных обработках развитие мучнистой росы было минимальным. Так, степень поражения поверхности листа в данных вариантах в 2015 г. составила 1,4 и 0,7 %, а в 2017 г. – 1,2 и 0,7 % соответственно.

Снижение процента поражения посевов мучнистой росой объясняется тем, что препараты тилт турбо (фенпропидин, 450 г/л + пропиконазол, 125 г/л), амистар трио, КЭ (азоксистробина, 100 г/л + ципроконазол, 30 г/л + пропиконазол, 125 г/л) и менара, КЭ (пропиконазол, 250 г/л + ципроконазол, 160 г/л) – фунгициды системного действия, которые обладают лечебным и защитным действием против большинства болезней зерновых культур за счет подавления активности патогенов на всех этапах развития.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что фунгицидные обработки посевов оказали влияние на плотность продуктивного стеблестоя сорта *Динамо* к уборке. Так, в условиях 2015 г. количество продуктивных стеблей перед уборкой во всех вариантах опыта было выше на 60–80 шт./м² (10,2–13,6 %) по сравнению с контролем (табл. 1).

Таблица 1

Влияние фунгицидов на элементы структуры урожая тритикале озимого *Динамо*, 2014–2015 и 2016–2017 гг.

Table 1

Effect of fungicides on crop structure and productivity of *Dynamo* winter triticale, 2014–2015 and 2016–2017

Вариант	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²		Число зерен в колосе, шт.		Масса 1000 зерен, шт.	
	2015	2017	2015	2017	2015	2017
1. Контроль	590	585	47,0	43,7	33,9	42,4
2. Тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31)	670	650	46,1	44,4	34,4	43,9
3. Тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31) амистар трио, КЭ 1,0 л/га (ДК 60)	670	655	48,7	45,4	37,4	44,7
4. Тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31) амистар трио, КЭ 0,75 л/га (ДК 41) менара, КЭ 0,5 л/га (ДК 60)	650	670	54,0	47,2	37,3	45,1
<i>HCP</i> ₀₅	18,8	15,1	2,1	1,4	0,4	0,26

Такая же тенденция была отмечена и в условиях 2017 г. Количество продуктивных стеблей в контрольном варианте было на 65–85 шт./м² (11,1–14,5 %) ниже, чем в вариантах, с использованием фунгицидов.

В среднем за период исследований величина данного показателя в вариантах с применением фунгицидов была практически одинаковой и превысила контроль на 72–75 шт./м² (12,2–12,8 %).

Изучаемые фунгициды различались по влиянию на число зерен в колосе тритикале озимого. Так, в условиях 2015 г. в контрольном варианте величина данного показателя составила 47,0 шт., в то время, как в варианте с применением фунгицида тилт турбо (1 л/га), число зерен в колосе было на 0,9 шт. (1,9 %) меньше (табл. 1). При 2- и 3-кратной обработке посевов фунгицидами величина данного показателя была на 1,7–7,0 шт. (3,6–14,9 %) выше, чем в контроле. Однако лишь при 3-кратном внесении фунгицидов было отмечено статистически достоверное превышение над контролем числа зерен в колосе. В условиях 2017 г. при недостаточном увлажнении в период выхода в трубку (ДК 31) в контрольном варианте озерненность колоса составила 43,7 шт. и была ниже на 0,7–3,5 шт. (1,6–8,0 %), чем в вариантах с применением изучаемых фунгицидов. В среднем за два года, в контроле, число зерен в колосе составило 45,4 шт. В наших исследованиях однократное применение фунгицида тилт турбо (1 л/га) на посевах тритикале озимого не оказало положительного влияния на этот показатель. Озерненность колоса в этом случае составила в среднем 45,3 шт. и была на 0,1 шт. меньше, по сравнению с контролем. При 2- и 3-кратной обработке посевов фунгицидами число зерен в колосе составило соответственно 47,1 и 50,6 шт., что выше по сравнению с контролем соответственно на 1,7–5,2 шт. (3,7–11,4 %).

Установлено, что масса 1000 зерен зависела от числа фунгицидных обработок и погодных условий в период вегетации растений (табл. 1). Так, июньская засуха 2015 г. привела к значительному снижению величины данного показателя. В наших исследованиях, у сорта *Динамо* во всех вариантах опыта с применением фунгицидов масса 1000 зерен была на 0,5–3,5 г (1,5–10,3 %) выше, чем в контрольном варианте. Причем, наибольшим этот показатель был при 2- и 3-кратной обработке посевов фунгицидами. В условиях 2017 г., когда налив зерна протекал в период достаточного увлажнения, масса 1000 зерен была значительно выше. Так, в контрольном варианте величина данного показателя составила 42,4 г. и была ниже, чем при однократной, двукратной и трехкратной обработках фунгицидами на 1,5; 2,3 и 2,7 г (3,5; 5,4 и 6,4 %) соответственно. Такая же закономерность прослеживалась и в среднем за период исследований. Так, масса 1000 зерен в контроле составила 38,2 г., что на 1,0; 2,9 и 3,0 г (2,6; 7,6 и 7,8 %) меньше по сравнению с 1-, 2-, 3-кратным применением фунгицидов.

Погодные условия в период вегетации растений оказали существенное влияние на величину урожайности зерна тритикале озимого. В наших исследованиях в 2017 г. применение фунгицида тилт турбо (1,0 л/га) в фазу выхода в трубку (ДК 31) обеспечило в сложившихся условиях прибавку урожайности зерна 9,6 ц/га (9,8 %) (табл. 2).

Таблица 2

Влияние фунгицидов на урожайность тритикале озимого *Динамо*, 2014–2015 и 2016–2017 гг.

Table 2

Effect of fungicides on crop productivity of *Dynamo* winter triticale, 2014–2015 and 2016–2017

Вариант	Урожайность, ц/га			
	2015	2017	среднее	± к контролю
1. Контроль	51,7	97,5	74,6	
2. Тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31)	55,2	107,1	81,2	+6,6
3. Тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31) амистар трио, КЭ 1,0 л/га (ДК 60)	60,5	108,8	84,7	+10,1
4. Тилт турбо, КЭ 1,0 л/га (ДК 31) амистар трио, КЭ 0,75 л/га (ДК 41) менара, КЭ 0,5 л/га (ДК 60)	60,3	111,4	85,9	+11,3
<i>HCP</i> ₀₅	2,3	3,5		

В вариантах при 2- и 3-кратном применении изучаемых фунгицидов этот показатель был выше и составил 11,3 и 13,9 ц/га (11,6 и 14,3 %) соответственно. В экстремальных условиях 2015 г. прослеживалась такая же закономерность, хотя урожайность зерна была практически в два раза ниже. Так, в контрольном варианте в этом случае она составила 51,7 ц/га. При 1-, 2- и 3-кратной обработке посевов фунгицидами урожайность зерна увеличивалась соответственно на 3,5; 8,8 и 8,6 ц/га (6,8; 17,0 и 16,6 %). В среднем за период исследований прибавка урожайности зерна в этих вариантах составила 6,6; 10,1 и 11,3 ц/га (8,8; 13,5 и 15,1 %) соответственно.

Заключение

Таким образом, величина урожайности зерна тритикале озимого *Динамо* изменялась в зависимости от кратности внесения фунгицидов на его посевах. Применение фунгицида тилт турбо (1,0 л/га) в фазу выхода в трубку (ДК 31) обеспечило прибавку урожайности зерна в среднем 6,6 ц/га (8,8 %). При дополнительном внесении фунгицида амистар трио (1,0 л/га) в фазу цветения (ДК 60) этот показатель составил 10,1 ц/га (13,5 %). Наибольшая прибавка урожайности зерна (11,3 ц/га или 15,1 %) была получена при использовании в фазу выхода в трубку (ДК 31) тилт турбо (1,0 л/га), флагового листа (ДК 41) амистар трио (0,75 л/га), цветения (ДК 60) менара (0,5 л/га).

Под влиянием фунгицидов плотность продуктивного стеблестоя тритикале озимого перед уборкой была выше по сравнению с контролем в среднем на 72–75 шт./м² (12,2–12,8 %). Однократное применение фунгицида тилт турбо (1,0 л/га) на посевах тритикале озимого не привело к увеличению числа зерен в колосе. Озерненность колоса при 2- и 3-кратной обработках фунгицидами в среднем была выше по сравнению с контролем на 1,7–5,2 шт. (3,7–11,4 %). Использование фунгицидов на посевах тритикале озимого способствовало увеличению, по сравнению с контролем, массы 1000 зерен в среднем на 1,0–3,0 г (2,6–7,8 %).

Библиографические ссылки

1. Результаты испытания сортов озимых, яровых зерновых, зернобобовых и крупяных на хозяйственную полезность в Республике Беларусь за 2014–2016 гг. Минск, 2017.
2. Пригге Г., Герхард М., Хабермайер И. Грибные болезни зерновых культур. Ландвиртшафтсферлаг Мюнстер-Хилтруп и БАСФ АГ, 2004.
3. Дорофеева Л. Л., Шкаликов В. А. Болезни зерновых культур. Bayer CropScience, 2008.
4. Food and agriculture organization of the United Nations (FAOSTAT) // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.faostat.fao.org/default.aspx> (дата обращения: 18.02. 2009).
5. Мережко А. Ф. Генетические ресурсы тритикале – важный фактор диверсификации зерна – и кормопроизводства // Зерно и хлеб России: II Междунар. конгр. Санкт-Петербург, 2006. С. 144–145.
6. Шкаликов В. А. Защита растений от болезней. М., 2001.
7. Мучнистая роса // WWW.AGROCOUNSEL.RU [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agrocounsel.ru/muchnistaya-rosa-pshenitsy> (дата обращения: 11.01.2016).
8. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых и крупяных культур: сб. отраслевых регламентов. Минск, 2012.
9. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах СЭВ. Прага, 1988.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов испытаний). 5-е изд. М., 1985.
11. Санин С. С. Фитосанитарная экспертиза зернового поля и принятие решений по опрыскиванию пшеницы фунгицидами: теория и практические рекомендации // Прил. к журн. «Защита и карантин растений». 2016. № 5. С. 83(31)–86(36).

References

1. Rezultaty ispytaniya sorta ozimyx. yarovyx zernovykh. zernobobovykh i krupyanykh na hozyaystvennuyu poleznost v respublike Belarus za 2014–2016 gg. Minsk, 2017 (in Russ.).
2. Prigge G., Gerxard M., Xabermayer I. Gribnye bolezni zernovykh kultur. Landvirtschaftsferlag Myunster-Xiltrup i BASF AG, 2004 (in Russ.).
3. Dorofeeva L. L., Shkalikov V. A. Bolezni zernovykh kultur. Bayer CropScience, 2008 (in Russ.).
4. Food and agriculture organization of the United Nations (FAOSTAT). [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.faostat.fao.org/default.aspx> (date of access: 18.02. 2009).
5. Merezko A. F. Geneticheskie resursy triticales – vazhnyy faktor diversifikatsii zerna – i kormoprpoizvodstva. Zerno i xleb: II Mezhdunar. congr. Sankt-Peterburg, 2006. P. 144–145 (in Russ.).
6. Shkalikov V. A. Zashchita pasteniy ot bolezney. Moscow, 2001 (in Russ.).
7. Muchnistaya rosa // // WWW.AGROCOUNSEL.RU URL [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.agrocounsel.ru/muchnistaya-rosa-pshenitsy> (data of access: 11.01. 2016).
8. Organizatsionno-texnologicheskiye normativy vozdel'yvaniya zernovykh, zernobobovykh i krupyanykh kultur : sbornik otraslevykh reglamentov. Minsk, 2012 (in Russ.).
9. Metody selektsii i otsenki ustoychivosti pshenitsy i yachmenya k boleznyam v stranax SEV. Praga, 1988 (in Russ.).
10. Dospexov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov ispytaniy), 5-e izd. Moscow, 1985 (in Russ.).
11. Sanin S. S. Fitosanitarnaiya ekspertiza zernovogo polya i prinyatiye resheniy po opryskivaniyu pshenitsy fungitsydami: teoriya i prakticheskiye rekomendatsii. Pril. k zhurn. «Zashchita i karantin rasteniy». 2016. No. 5. P. 83(31)–86(36) (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 08.02.2018

Received by editorial board 08.02.2018

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ИТОГАМ ОБРАБОТКИ ФОРМЫ ГОССТАТОТЧЕТНОСТИ 1–ВОЗДУХ (МИНПРИРОДЫ)

Г. И. ГЛАЗАЧЕВА¹⁾, Т. А. КУРЛОВИЧ¹⁾, В. М. БУРАК¹⁾, Т. Н. ВАГИНА¹⁾

¹⁾Республиканское унитарное предприятие «БелНИЦ Экология»,
ул. Гуляма Якубова, 76, 220095, Минск, Беларусь

Проведена оценка количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов в Республике Беларусь на основании данных ежегодного государственного статистического наблюдения по форме 1–воздух (Минприроды). Анализ выбросов представлен в территориально-административном разрезе (республика, область, г. Минск, отдельные города), а также по видам экономической деятельности. Рассмотрена динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 2010–2016 гг. Проанализированы структура выбросов, основные загрязняющие вещества по ингредиентам, специфические загрязняющие вещества – по классам опасности. Освещены вопросы очистки и обезвреживания загрязняющих веществ, а также использования загрязняющих веществ, уловленных газоочистными установками. Приведены удельные выбросы (в расчете на одного жителя и на кв. км территории). Дана оценка выбросов загрязняющих веществ по видам экономической деятельности. Проведенный анализ сводных статистических данных по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух позволит интерпретировать имеющуюся информацию и доказательно обеспечить принятие необходимых организационных, технологических решений для снижения уровня негативного воздействия на атмосферный воздух.

Ключевые слова: стационарные источники; выбросы загрязняющих веществ; ингредиенты; очистка выбросов; использование; удельные выбросы; виды экономической деятельности.

Образец цитирования:

Глазачева Г. И., Курлович Т. А., Бурак В. М., Вагина Т. Н. Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Республики Беларусь по итогам обработки формы госстатотчетности 1 – воздух (Минприроды) // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. – 81–96.

For citation:

Hlazachova H. I., Kurlovich T. A., Burak V. M., Vagina T. N. Evaluation of pollutants emissions into the atmospheric air of the Republic of Belarus using the results of processed forms of state statistic reporting 1 – air (Ministry of environment). *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 82–96. (in Russ.).

Авторы:

Галина Ивановна Глазачева – кандидат химических наук; ведущий научный сотрудник отдела комплексных экологических исследований.

Тамара Адамовна Курлович – старший научный сотрудник отдела комплексных экологических исследований.

Валерий Михайлович Бурак – кандидат геолого-минералогических наук; ведущий научный сотрудник отдела мониторинга окружающей среды.

Татьяна Николаевна Вагина – научный сотрудник отдела комплексных экологических исследований.

Authors:

Halina I. Hlazachova, PhD (chemistry); leading researcher of the department of comprehensive environmental researches. *ohrana_av@tut.by*

Tamara A. Kurlovich, senior researcher of the department of comprehensive environmental researches. *promeco@tut.by*

Valery M. Burak, PhD (geology and minerals); leading researcher of the department of environmental monitoring. *omos@tut.by*

Tanya N. Vagina, researcher of the department of comprehensive environmental researches. *promeco@tut.by*

ESTIMATION OF POLLUTANTS EMISSIONS IN ATMOSPHERIC AIR OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY THE RESULTS OF PROCESSING OF THE FORM OF STATE STATISTICAL REPORTING 1–AIR (MINISTRY OF NATURAL RESOURCES)

H. I. HLAZACHOVA^a, T. A. KURLOVICH^a, V. M. BURAK^a, T. N. VAGINA^a

^aRepublican unitary enterprise «BRC Ecology», Gulyama Yakubova street, 76, 220095, Minsk, Belarus

Corresponding author: ohrana_av@tut.by

The quantitative and qualitative composition of air pollutant emissions from stationary sources of emissions in the Republic of Belarus was estimated on the basis of the annual state statistical observation data on form 1–air (Ministry of Environment). The analysis of emissions is presented in the territorial-administrative context (republic, region, Minsk, separate cities), as well as by types of economic activity. The dynamics of pollutant emissions into the atmosphere for the years of 2010–2016. The structure of emissions, the main pollutants for ingredients, the specific pollutants – by hazard class were analyzed. The issues of cleaning and neutralization of pollutants, as well as the use of pollutants caught by gas treatment plants are covered. Specific emissions (per 1 inhabitant and per sq. km of territory) are given. The estimation of pollutant emissions by economic activity. The analysis of summary statistical data on pollutants in the air will allow to interpret the available information and evidence-ensure that the necessary organizational and technological solutions to reduce the negative impact on the atmosphere.

Key words: stationary sources, pollutants emissions, ingredients, emission cleaning, use, specific emissions, types of economic activity.

Введение

Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников на основании анализа официальной статистической информации о выбросах в территориально-административном разрезе (республика, область, г. Минск, район, город) позволяет более обоснованно решать задачи по регулированию воздействия на атмосферный воздух и проведению воздухоохраных мероприятий.

Сводные статистические данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух формируются в результате обработки годовой формы госстатотчетности 1–воздух (Минприроды) «Отчет о выбросах загрязняющих веществ и диоксида углерода в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов». Сведения предоставляются юридическими лицами (кроме субъектов малого предпринимательства), обособленными подразделениями юридических лиц, располагающих отдельным балансом, эксплуатирующих объекты воздействия на атмосферный воздух, имеющих стационарные источники выбросов, у которых количество загрязняющих веществ, разрешенных к выбросу в атмосферный воздух, устанавливаемое территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в разрешении на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух или комплексном природоохранном разрешении в отчетном году (кроме загрязняющих веществ I класса опасности), составляет 25 т и более в год и (или) загрязняющих веществ I класса опасности составляет 1 кг и более в год.

Цель настоящего исследования – анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов в Республике Беларусь, полученный на основании данных ежегодного государственного статистического наблюдения по форме 1–воздух (Минприроды) «Отчет о выбросах загрязняющих веществ и диоксида углерода в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов» за 2016 г.

Анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов представлен в разрезе республики, областей, отдельных городов и г. Минск, а также по видам экономической деятельности в динамике 2010–2016 гг.

Динамика основных показателей, характеризующих выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в Республике Беларусь за 2010–2016 гг., в натуральном и процентном выражении, представлена в табл. 1.

Выявлено, что с 2013 г. наблюдается рост основных показателей, характеризующих выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. В 2016 г. по отношению к 2010 г. увеличилось количество загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников (на 4,1 %), объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (на 20,2 %), а также величина уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников (на 2 %).

Таблица 1

Основные показатели, характеризующие выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в Республике Беларусь [1]

Table 1

Key indicators characterizing pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources in the Republic of Belarus [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Количество загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, тыс. т	3 240	3 171	3 124	3 332	4 108	3 645	3374
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, тыс. т	377	371	433	445	463	458	453
Уловлено и обезврежено загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, тыс. т	2 863	2 800	2 691	2 887	3 646	3 187	2921
Удельный вес уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферный воздух веществ в общем количестве загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, %	88	88	86	87	89	87	87
Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух после проведения мероприятий по уменьшению выбросов, тыс. т	3	4	3	26	14	6	19
в % к предыдущему году							
Количество загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников	129,7	97,9	98,5	106,7	123,3	88,7	92,6
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников	82,5	98,4	116,7	102,8	104,0	99,0	98,9
Уловлено и обезврежено загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников	140,3	97,8	96,1	107,3	126,3	87,4	91,7
в % к 2010 г.							
Количество загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников	100	97,9	96,4	102,8	126,8	112,5	104,1
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников	100	98,4	114,9	118,0	122,8	121,5	120,2
Уловлено и обезврежено загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников	100	97,8	94,0	100,8	127,3	111,3	102,0

В 2016 г. в Республике Беларусь по форме 1–воздух (Минприроды) отчиталось 2393 предприятия, что на 1,8 % больше, чем в 2015 г.

Структура выбросов загрязняющих веществ

Согласно статистической отчетности, объем выбросов от стационарных источников по республике в 2016 г. составил 453,1 тыс. т, в том числе от технологических и других процессов 361,7 тыс. т, от сжигания топлива – 89,9 тыс. т, от использования, обезвреживания отходов – 1,4 тыс. т, что составляет 79,8 %, 19,8 % и 0,3 % соответственно. По сравнению с 2015 г., доля выбросов от технологических и других процессов в 2016 г. незначительно уменьшилась (на 7,7 тыс. т).

Выбросы от *технологических процессов*, по отношению к общему их количеству по регионам в 2016 г. распределяются следующим образом: по Брестской обл. – 83,1 %, Витебской обл. – 75,3 %, Гомельской обл. – 88,5 %, Гродненской обл. – 84,0 %, Минской обл. – 73,8 %, Могилевской обл. – 80,1 % и по г. Минску – 59,7 %.

Выбросы от *сжигания топлива*, по отношению к общему их количеству, по регионам в 2016 г. распределяются таким образом: по Брестской обл. – 16,9 %, Витебской обл. – 24,6 %, Гомельской обл. – 11,5 %, Гродненской обл. – 14,1 %, Минской обл. – 26,2 %, Могилевской обл. – 19,4 % и по г. Минску – 40,3 %,.

Выбросы от *использования, обезвреживания отходов*, по отношению к общему их количеству по регионам в 2016 г. составляют незначительные количества – 0,1 тыс. т по Витебской обл., 0,2 тыс. т по Могилевской обл. и до 1,0 тыс. т по Гродненской обл. (табл. 2).

Объем валовых выбросов по стране в 2016 г., по сравнению с 2015 г., снизился на 1,1 %.

Увеличение объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по сравнению с предыдущим 2015 г. в Гомельской обл. составило 5,0 %, в Брестской обл. – 2,4 %.

Таблица 2

Структура выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в разрезе областей (г. Минск) в 2016 г. [1]

Table 2

Structure of pollutant emissions from stationary sources in the in the context of regions (Minsk) in 2016 [1]

Регион	Всего выброшено загрязняющих веществ, тыс. т	В том числе		
		от сжигания топлива	от использования, безвреживания отходов	от технологических и других процессов
1	2	3	4	5
Республика Беларусь	453,1	89,9	1,4	361,7
Брестская	51,5	8,7	0,0	42,8
Витебская	107,9	26,6	0,1	81,2
Гомельская	104,6	12,0	0,0	92,6
Гродненская	53,8	7,6	1,0	45,2
г. Минск	18,1	7,3	0,0	10,8
Минская	74,9	19,6	0,0	55,3
Могилевская	42,2	8,2	0,2	33,8

В то же время уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по сравнению с предыдущим годом зафиксировано в г. Минске (на 10,8 %), Гродненской обл. (на 4,8 %), Витебской и Могилевской (на 3,7 %), Минской обл. (на 1,3 %).

Наибольший удельный вес выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в общем объеме выбросов по республике по-прежнему приходится на Витебскую (23,8 %) и Гомельскую обл. – 23,1 %; наименьший – на г. Минск – 4,0 %. Выбросы по Минской области в общем объеме выбросов составляют – 16,5 %, Гродненской – 11,9 %, Брестской 11,4 %, Могилевской обл. – 9,3 % (рис. 1).

Список городов с наибольшими объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников традиционно возглавляют Новополоцк (51,1 тыс. т), Минск (18,1 тыс. т), Новолукомль (12,5 тыс. т), Жлобин (9,8 тыс. т), Гродно (9,6 тыс. т). Суммарно выбросы вышеуказанных городов составляют 22,3 % от валовых выбросов по стране (табл. 3).

Выбросы основных загрязняющих веществ

В составе выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 2016 г. доля углеводородов составляла 35,1 %, оксида углерода – 16,1 %, диоксида серы – 11,8 %, НМЛОС – 11,9 %, диоксида азота – 11,2 %, твердых веществ – 6,0 %, оксида азота – 1,3 %, прочих – 6,6 % (рис. 2).

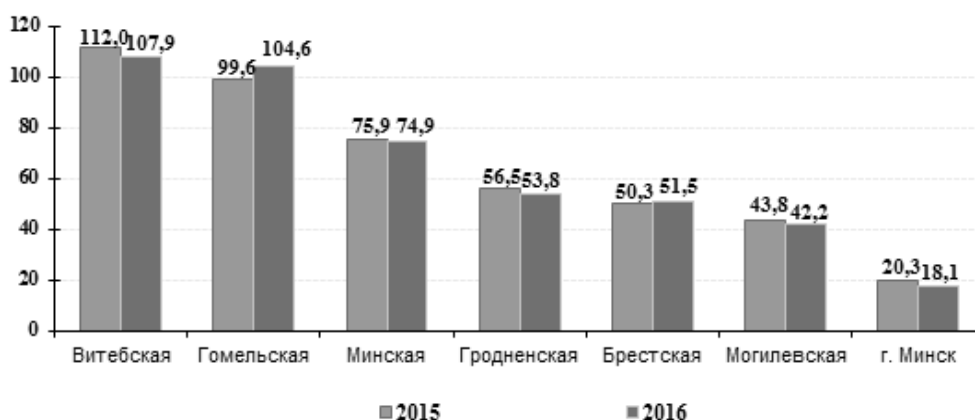


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по областям и г. Минску за 2015–2016 гг., тыс. т

Fig. 1. Emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources by regions and Minsk city for 2015–2016, thousand tons

Таблица 3

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух
от стационарных источников по отдельным городам, тыс. т [1]

Table 3

Emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources in cities, thousand tons [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Барановичи	1,9	1,7	1,7	2,7	1,5	1,2	1,3
Бобруйск	7,6	6,7	6,5	6,0	5,3	4,3	3,6
Борисов	2,3	2,3	2,8	2,9	2,8	1,8	1,9
Брест	2,9	3,0	3,5	3,7	3,3	3,3	3,1
Витебск	3,7	4,9	4,8	3,8	3,6	3,5	3,1
Гомель	11,3	8,8	9,2	7,2	8,6	7,1	8,9
Гродно	11,5	10,7	11,9	10,6	10,0	9,7	9,6
Жлобин	6,4	6,3	9,0	8,9	9,1	7,7	9,8
Жодино	1,9	1,6	1,7	1,5	1,1	1,0	1,1
Лида	1,9	2,1	2,5	2,6	2,1	2,3	2,4
Минск	30,9	25,7	26,6	25,1	23,5	20,3	18,1
Могилев	6,5	6,9	6,8	6,5	5,6	6,4	5,9
Мозырь	0,5	0,4	0,5	0,5	1,8	0,7	0,6
Молодечно	1,7	1,7	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0
Новополоцк	50,3	51,2	67,8	53,5	52,0	57,6	51,1
Новолукомль	16,3	11,2	9,6	8,9	7,6	8,2	12,5
Орша	3,6	3,2	3,6	2,0	2,0	2,1	2,2
Пинск	2,3	1,6	1,5	1,4	1,1	1,2	1,3
Полоцк	2,0	1,7	1,7	2,0	2,3	2,1	2,2
Речица	2,3	1,5	1,4	1,0	1,2	1,2	1,4
Светлогорск	3,3	2,6	2,8	2,4	2,7	2,6	2,0
Слуцк	3,7	3,4	3,7	3,3	2,9	2,3	2,9



Рис. 2. Выбросы загрязняющих веществ по основным ингредиентам в Республике Беларусь в 2016 г.

Fig. 2. Pollutants Emissions by main ingredients in the Republic of Belarus 2016

Динамика выбросов по основным ингредиентам свидетельствует, что наблюдается постепенное снижение выбросов отдельных загрязняющих веществ по отношению к 2010 г.: твердых веществ с 4,3 тыс. т в 2010 г. до 27,4 тыс. т в 2016 г.; диоксида азота с 57,1 тыс. т до 50,8 тыс. т, НМЛОС с 63 тыс. т до 54,0 тыс. т. В то же время произошло значительное увеличение количества углеводородов в составе выбросов (с 53,6 тыс. т в 2010 г. до 158,8 тыс. т в 2016 г.).

В 2016 г., по сравнению с 2015 г., увеличились объемы выбросов диоксида азота на 3 % (на 1,5 тыс. т), углеводородов на 0,7 % (на 1,1 тыс.т), оксида азота на 3,5 % (на 0,2 тыс. т) и прочих веществ на 1,7 % (на 0,5 тыс. т) (табл. 4).

Таблица 4

**Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников
по отдельным ингредиентам по областям (г. Минск) за 2010–2016 гг., тыс. т [1]**

Table 4

**Emissions of pollutants into the air from stationary sources by individual ingredients
by regions (Minsk) for 2010–2016, thousand tons [1]**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>Всего</i>							
Республика Беларусь	377,1	371,1	433,2	445,3	462,8	458,3	453,1
Брестская	28,6	27,1	34,8	39,2	51,8	50,3	51,5
Витебская	94,4	92,2	110,4	105,8	102,5	112,0	107,9
Гомельская	82,9	85,4	95,4	102,7	101,6	99,6	104,6
Гродненская	44,7	43,9	48,3	53,2	58,8	56,5	53,8
г. Минск	30,9	25,7	26,6	25,1	23,5	20,3	18,1
Минская	51,1	51,9	69,2	71,0	74,5	75,9	74,9
Могилевская	44,5	44,8	48,4	48,2	50,1	43,8	42,2
<i>в том числе: твердые</i>							
Республика Беларусь	44,3	39,9	37,4	36,1	34,9	30,1	27,4
Брестская	5,4	4,7	4,5	4,3	4,3	3,3	3,2
Витебская	7,1	6,1	6,0	6,0	6,2	5,6	5,1
Гомельская	6,6	5,7	5,5	5,5	5,4	4,4	4,3
Гродненская	7,1	6,8	5,8	5,6	5,2	5,0	4,4
г. Минск	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,6	1,4
Минская	9,0	8,2	7,4	6,9	6,4	6,1	5,1
Могилевская	6,5	5,8	5,8	5,7	5,5	4,1	3,9
<i>диоксид серы</i>							
Республика Беларусь	51,7	44,4	63,7	48,5	50,3	56,8	53,3
Брестская	2,5	1,4	2,1	1,2	1,3	1,3	1,2
Витебская	19,6	17,4	31,5	21,0	23,0	27,5	25,4
Гомельская	18,9	18,3	19,6	19,9	19,8	21,8	20,6
Гродненская	1,5	0,8	2,1	0,9	0,9	1,0	1,7
г. Минск	1,9	0,9	2,0	0,9	1,0	0,8	0,6
Минская	5,4	4,2	4,5	3,3	2,4	3,1	2,7
Могилевская	1,9	1,3	1,9	1,3	1,9	1,3	1,3
<i>оксид углерода</i>							
Республика Беларусь	75,1	73,9	78,6	81,9	80,9	75,4	73,1
Брестская	6,6	6,7	6,6	6,3	6,2	5,5	5,5
Витебская	12,8	12,0	12,8	14,5	14,4	14,6	14,4
Гомельская	13,6	13,7	15,6	16,8	15,9	12,9	15,1
Гродненская	9,5	9,9	8,7	8,3	8,8	9,9	7,8
г. Минск	11,2	11,5	11,0	10,1	10,3	8,5	7,0
Минская	13,6	12,5	15,5	17,9	17,1	17,4	16,5
Могилевская	7,8	7,7	8,3	7,8	8,2	6,6	6,8

Окончание табл. 4

Ending table 4

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>диоксид азота</i>							
Республика Беларусь	57,1	52,8	52,8	55,7	54,3	49,3	50,8
Брестская	4,0	3,8	3,5	3,0	3,8	4,0	3,7
Витебская	14,8	12,5	11,0	11,7	9,4	9,6	10,3
Гомельская	10,3	9,1	9,7	10,0	9,1	8,7	9,5
Гродненская	8,4	8,6	7,5	8,7	9,8	8,5	9,3
г. Минск	5,0	4,6	5,2	6,0	5,4	5,0	5,2
Минская	5,9	5,7	6,5	5,8	6,4	5,6	5,2
Могилевская	8,7	8,5	9,5	10,4	10,5	8,0	7,6
<i>неметановые летучие органические соединения</i>							
Республика Беларусь	63,0	66,9	70,0	60,9	55,5	54,0	54,0
Брестская	1,7	1,6	2,2	2,2	2,4	1,9	1,5
Витебская	31,3	32,8	34,9	27,1	25,3	25,8	25,2
Гомельская	16,4	16,6	16,5	14,8	13,6	13,8	14,0
Гродненская	3,6	3,5	3,7	4,1	3,5	3,0	3,2
г. Минск	4,3	4,4	4,7	4,3	3,3	2,8	2,3
Минская	2,9	3,2	3,6	4,1	3,5	2,9	3,5
Могилевская	2,8	4,8	4,5	4,4	3,9	3,9	4,3
<i>углеводороды</i>							
Республика Беларусь	53,6	63,8	99,9	125,8	149,1	157,7	158,8
Брестская	6,6	6,8	13,0	18,3	28,0	28,8	30,7
Витебская	3,4	6,3	9,4	19,2	18,7	23,2	21,5
Гомельская	9,9	17,1	23,4	29,9	30,7	31,8	34,3
Гродненская	8,5	8,9	14,9	19,4	23,8	22,5	21,2
г. Минск	4,5	0,9	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5
Минская	8,8	12,0	24,1	23,5	30,7	33,7	34,8
Могилевская	11,9	11,7	14,6	14,8	16,6	17,2	15,7
<i>оксид азота</i>							
Республика Беларусь	6,5	5,9	6,2	6,5	6,0	5,7	5,9
Брестская	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6
Витебская	2,1	1,7	1,3	1,5	1,1	1,1	1,4
Гомельская	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9
Гродненская	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7
г. Минск	0,7	0,6	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8
Минская	0,9	1,0	1,2	1,1	1,2	1,1	1,0
Могилевская	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,5	0,4
<i>прочие</i>							
Республика Беларусь	25,8	23,6	24,7	29,9	31,7	29,2	29,7
Брестская	1,2	1,6	2,3	3,5	5,3	4,8	5,1
Витебская	3,3	3,4	3,5	4,8	4,4	4,7	4,7
Гомельская	6,3	4,2	4,2	4,8	6,1	5,5	5,9
Гродненская	5,6	4,8	5,1	5,4	6,1	5,9	5,5
г. Минск	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Минская	4,6	5,3	6,4	8,4	6,9	6,0	6,1
Могилевская	4,1	4,3	3,0	2,9	2,7	2,1	2,3

Выбросы специфических загрязняющих веществ

В 2016 г. в республике было выброшено 269,9 тыс. т специфических загрязняющих веществ, в том числе загрязняющих веществ 1 класса опасности – 44,8 т, 2 класса – 2,9 тыс. т, 3 класса опасности – 29,1 тыс. т, 4 класса опасности – 233,9 тыс. т, с неустановленным классом опасности – 4,0 тыс. т. (табл. 5).

Таблица 5

Выбросы специфических загрязняющих веществ в атмосферный воздух по республике за 2016 г.

Table 5

Emissions of specific polluting substances into atmospheric air in the Republic in 2016

Республика Беларусь	Код вещества	Выбросы загрязняющих веществ, т
Всего загрязняющих веществ		269929,2
Загрязняющие вещества класса опасности 1		44,8
Кадмий и его соединения (в пересчете на кадмий)	0124	0,5
Никель и его соединения (в пересчете на никель)	0160	21,4
Ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть)	0183	0,1
Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	0184	6,1
Хром (VI)	0203	1,0
Озон	0326	0,8
Бенз(а)пирен	0703	1,5
Диоксины	3620	0,2
Полихлорированные бифенилы	3920	0,1
Прочие вещества 1-го класса опасности		13,1
Загрязняющие вещества класса опасности 2		2884,1
Медь и ее соединения (в пересчете на медь)	0140	4,7
Гидрохлорид (водород хлорид, соляная кислота)	0316	50,0
Мышьяк, неорганические соединения (в пересчете на мышьяк)	0325	0,4
Сероводород	0333	368,3
Сероуглерод	0334	1,1
Фтористые газообразные соединения (в пересчете на фтор) – гидрофторид	0342	59,0
Бензол	0602	820,0
Углеводороды ароматические	0655	541,5
Фенол (гидроксibenзол)	1071	78,8
Формальдегид (метаналь)	1325	223,4
Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	2904	70,4
Прочие вещества 2-го класса опасности		666,5
Загрязняющие вещества класса опасности 3		29052,9
Цинк и его соединения (в пересчете на цинк)	0229	59,2
Углерод черный (сажа)	0328	594,6
Ксилолы (смесь изомеров о-м-п-)	0616	1660,8
Толуол (метилбензол)	0621	922,7
Твердые частицы суммарно	2902	14550,1
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния более 70 % (диас и др.)	2907	235,1
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния менее 70 % (шамот, цемент, и др.)	2908	4922,6
Пыль древесная	2936	1548,5
Пыль зерновая (по массе)	2937	1199,0
Прочие вещества 3-го класса опасности		3360,3

Окончание табл. 5

Ending table 5

Республика Беларусь	Код вещества	Выбросы загрязняющих веществ, т
Загрязняющие вещества класса опасности 4		233948,8
Аммиак	0303	27051,2
Углеводороды предельные алифатического ряда C1–C10	0401	36835,3
Циклогексан	0408	493,9
Метан	0410	158588,6
Углеводороды непредельные алифатического ряда	0550	3846,7
Углеводороды алициклические	0551	239,3
Этанол (этиловый спирт)	1061	1422,6
Бутилацетат (уксусной кислоты бутиловый эфир)	1210	508,7
Этилацетат (уксусной кислоты этиловый эфир)	1240	385,0
Пропан-2-он (ацетон)	1401	929,9
Углеводороды предельные алифатического ряда C11–C19	2754	508,0
Прочие вещества 4-го класса опасности		3139,5
Загрязняющие вещества, которым не установлены классы опасности		3998,6
Хрома трехвалентные соединения (в пересчете на Cr3+)	0228	0,9
Бензо(b)флюорантен	0727	1,0
Бензо(k)флюорантен	0728	0,4
Индено(1.2.3-cd)пирен	0729	0,3
Гексахлорбензол	0830	1,0
2-этоксиэтанол (этиловый эфир этиленгликоля, этилцеллозольв)	1119	78,2
Пыль комбикормовая (в пересчете на белок)	2911	107,8
Прочие вещества, которым не установлены классы опасности		3808,9

Примечание. Данные Государственного кадастра атмосферного воздуха [2].

В структуре веществ **1-го класса опасности** наибольшее количество *никеля и его соединений* – 47,8 %, *свинца и его неорганических соединений* – 13,6 %, *бенз(а)пирена* – 3,3 %.

Среди веществ **2-го класса опасности** – *бензол* – 28,4 %, *углеводороды ароматические* – 18,8 %, *сероводород* – 12,8 %, *формальдегид* – 7,7 %.

Из веществ **3-го класса опасности** *твердые частицы суммарно* – 50,1 %, *пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния менее 70 %* – 16,9 %, *ксилолы* – 5,7 %, *пыль древесная* – 5,3 %, *пыль зерновая* – 4,1 %, *толуол* – 3,2 %.

Наибольшее количество веществ **4-го класса опасности** составляют: *метан* – 67,8 %, *углеводороды предельные алифатического ряда C₁ – C₁₀* – 15,7 %, *аммиак* – 11,6 %, *углеводороды непредельные алифатического ряда* – 1,6 %, *этанол* – 0,6 %.

Среди веществ, которым **не установлены классы опасности** – *пыль комбикормовая* – 2,7 %, *2-этоксиэтанол* – 2,0 %.

В табл. 6 представлено распределение выбросов загрязняющих веществ по классам опасности в разрезе областей и г. Минска в 2016 г.

Наибольшее количество веществ **1-го класса опасности** от общего их количества выбрасывается в Гомельской – 16,2 т (36,2 %), Витебской – 11,1 т (24,8 %), Гродненской и Могилевской обл. – по 5,9 т (13,2 %); наименьшее – в Минской обл. – 1,2 т (2,7 %).

Таблица 6

Распределение выбросов загрязняющих веществ по классам опасности в разрезе областей (г. Минск) в 2016 г.

Table 6

Distribution of pollutant emissions by hazard classes in the regions (Minsk) in 2016

	Загрязняющие вещества, тыс.т					
	всего	1-го класса опасности, т	2-го класса опасности	3-го класса опасности	4-го класса опасности	не установлены классы опасности
Республика Беларусь	269,9	44,8	2,9	29,1	233,9	4,0
Брестская	40,5	2,1	0,2	3,3	36,8	0,3
Витебская	56,5	11,1	0,9	5,1	50,0	0,4
Гомельская	58,6	16,2	0,9	4,3	52,4	0,9
Гродненская	34,4	5,9	0,3	4,0	29,3	0,7
г. Минск	4,4	2,4	0,1	2,5	1,7	0,1
Минская	49,5	1,2	0,2	4,7	43,9	0,7
Могилевская	26,1	5,9	0,3	5,0	19,9	0,9

Значительное количество выбрасываемых загрязняющих веществ **2-го класса опасности** приходится на Витебскую и Гомельскую области – по 0,9 тыс. т (31,0 %); наименьшее – на г. Минск – 0,1 тыс. т (3,4 %).

Вклад областей в выбросы **веществ 3-го класса опасности** в общий объем распределяется достаточно равномерно: по Витебской обл. – 5,1 тыс. т (17,5 %), Могилевской – 5,0 тыс. т (17,2 %), Минской – 4,7 тыс. т (16,2 %), Гомельской – 4,3 тыс. т (14,8 %), Гродненской обл. – 4,0 тыс. т (13,7 %); наименьшее количество веществ 3-го класса опасности выбрасывается в г. Минске – 2,5 тыс. т.

Загрязняющие вещества **4-го класса опасности** распределяются по областям следующим образом: Гомельская – 52,4 тыс. т (22,4 %), Минская – 43,9 тыс. т (18,8 %), Брестская – 36,8 тыс. т (15,7 %), Гродненская – 29,3 тыс. т (12,5 %). Наименьшие выбросы отмечаются в г. Минске – 1,7 тыс. т (0,7 %).

Распределение загрязняющих веществ с **не установленным классом опасности**: Могилевская и Гомельская обл. – по 0,9 тыс. т (22,5 %); Гродненская и Минская – по 0,7 тыс. т (17,5 %); Витебская – 0,4 тыс. т (10,0 %), Брестская – 0,3 тыс. т (7,5 %); наименьшее значение отмечается по г. Минску – 0,1 тыс. т (2,5 %).

Очистка выбросов, их использование

В Республике Беларусь около 90 % загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, улавливается и обезвреживается газоочистными установками. Так, в 2016 г. в целом по республике уловлено и обезврежено 86,6 % загрязняющих веществ, в том числе 99 % – твердых, 29,7 % – газообразных и жидких.

В региональном разрезе процент улавливания и обезвреживания загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников выбросов, в 2016 г. распределился следующим образом: в Минской области – 94,8 %, Могилевской – 92,1 %, Гродненской – 91,2 %, Гомельской – 68,5 %, Брестской – 63,1 %, Витебской обл. – 47,2 % и г. Минске – 83,0 %, (табл. 7).

Таблица 7

Уловлено и обезврежено загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, по областям и г. Минску [1]

Table 7

Caught and neutralized air pollutants emitted from stationary sources, by regions and Minsk city [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	тыс. т						
Республика Беларусь	2 862,6	2 799,7	2 691,0	2 886,7	3 645,7	3 187,1	2921,4
Брестская	124,1	132,8	150,4	84,6	102,1	78,9	88,3
Витебская	123,0	123,7	129,2	116,4	112,0	110,3	96,5
Гомельская	169,6	174,8	230,4	218,4	230,5	211,4	227,8
Гродненская	306,4	306,1	291,8	655,4	772,6	574,6	554,2
г. Минск	53,3	53,9	57,1	61,4	52,7	119,4	88,1
Минская	1 503,4	1 408,2	1 218,9	998,3	1 440,1	1 366,1	1373,8
Могилевская	582,8	600,3	613,2	752,2	935,8	726,3	492,6

Окончание табл. 7

Ending table 7

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
в % к общему количеству загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников							
Республика Беларусь	88,4	88,3	86,1	86,6	88,7	87,4	86,6
Брестская	81,3	83,0	81,2	68,3	66,3	61,1	63,1
Витебская	56,5	57,3	53,9	52,4	52,2	49,6	47,2
Гомельская	67,2	67,2	70,7	68,0	69,4	68,0	68,5
Гродненская	87,3	87,5	85,8	92,5	92,9	91,0	91,2
г. Минск	63,3	67,7	68,3	71,0	69,2	85,5	83,0
Минская	96,7	96,4	94,6	93,4	95,1	94,7	94,8
Могилевская	92,9	93,1	92,7	94,0	94,9	94,3	92,1

В табл. 8 приведена динамика улавливания и обезвреживания загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников выбросов по областным городам. В 2016 г. в городах Витебске и Гомеле уровень уловленных и обезвреженных веществ максимальный – 94,5 и 91,4 % соответственно (табл. 9).

Таблица 8

Уловлено и обезврежено загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, по областным городам за 2010–2016 гг., тыс. т [1]

Table 8

Caught and neutralized air polluting substances from the stationary sources in regional cities for 2010–2016, thousand tons [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Республика Беларусь	2 862,6	2 799,7	2 691,0	2 886,7	3 645,7	3 187,1	2921,4
г. Брест	2,3	2,3	2,1	1,7	1,5	2,7	3,3
г. Витебск	53,6	53,6	53,7	54,8	54,7	56,0	53,3
г. Гомель	60,8	61,7	89,9	98,2	90,9	85,5	95,0
г. Гродно	64,7	66,9	72,1	66,4	70,5	60,6	38,8
г. Могилев	17,1	16,5	18,3	14,8	8,8	19,9	25,1

Таблица 9

Уловлено и обезврежено загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, по областным городам за 2016 г., тыс. т [1]

Table 9

Caught and neutralized air polluting of substances from the stationary sources, the regional cities for the 2016, thousand tons [1]

	Количество загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, тыс. т	Из них		
		уловлено и обезврежено		выброшено в атмосферный воздух, тыс. т
		всего, тыс. т	в % к общему количеству отходящих загрязняющих веществ	
г. Брест	6,4	3,3	51,2	3,1
г. Витебск	56,4	53,3	94,5	3,1
г. Гомель	103,9	95,0	91,4	8,9
г. Гродно	48,4	38,8	80,2	9,6
г. Могилев	31,0	25,1	81,0	5,9

Анализ данных за 2010–2016 гг. по использованию загрязняющих веществ, уловленных газоочистными установками, по областям и г. Минску показал незначительные изменения по республике в целом

(87,4–92,9 %) к общему объему уловленных загрязняющих веществ), в то время как по некоторым областям наблюдаются более значительные колебания: 70,5–83 % по Брестской и 69,2–85,2 % по Витебской областям. Самые значительные колебания показателей использования уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ (от 10,2 % в 2015 г. до 47,3 % в 2010 г.) отмечаются для Минска (в 4,6 раза), причем этот показатель из года в год снижается. Существенные колебания уровня использования уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ отмечены по Гомельской обл. (от 31,7 % в 2016 г. до 62 % в 2010 г.).

Достаточно стабилен этот показатель для следующих областей: Минской – 96,5–97,8 %, Могилевской – 95,6–98,8 %, Гродненской – 91,8–96,3 %, за исключением 2012 г. (табл. 10).

Таблица 10

Использовано загрязняющих веществ, уловленных газоочистными установками, по областям и г. Минску [1]

Table 10

Used pollutants trapped by gas treatment facilities by regions and Minsk city [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
тыс. т							
Республика Беларусь	2 636,6	2 573,9	2 379,3	2 639,8	3 386,0	2 850,8	2 553,9
Брестская	101,3	108,4	106,0	70,3	84,3	63,2	68,6
Витебская	96,0	105,4	102,9	91,9	88,1	76,3	73,6
Гомельская	105,1	101,3	119,2	124,6	128,4	116,7	72,2
Гродненская	284,1	280,8	259,2	628,4	744,0	547,6	531,1
г. Минск	25,2	23,5	20,5	21,1	8,8	12,2	15,3
Минская	1 462,1	1 372,7	1 177,4	969,5	1 407,8	1 317,7	1 313,8
Могилевская	562,8	581,6	594,1	734,1	924,6	717,1	479,2
в % к общему объему уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ							
Республика Беларусь	92,1	91,9	88,4	91,4	92,9	89,5	87,4
Брестская	81,6	81,7	70,5	83,0	82,6	80,0	77,7
Витебская	78,0	85,2	79,7	79,0	78,7	69,2	76,2
Гомельская	62,0	58,0	51,7	57,0	55,7	55,2	31,7
Гродненская	92,7	91,8	88,8	95,9	96,3	95,3	95,8
г. Минск	47,3	43,6	35,8	34,4	16,6	10,2	17,4
Минская	97,3	97,5	96,6	97,1	97,8	96,5	95,6
Могилевская	96,6	96,9	96,9	97,6	98,8	98,7	97,3

Из представленных аналогичных данных по областным городам (табл. 11) следует, что по г. Витебску показатели относительно стабильны; по г. Гомелю наблюдается увеличение использования уловленных загрязняющих веществ с 46,4 до 69,5 тыс. т (на 50 %), по г. Бресту с 0,9 до 2,5 тыс. т (на 17,8 %), по г. Могилеву с 1,8 до 15,4 тыс. т.

В 2016 г. отмечено значительное снижение использования загрязняющих веществ, уловленных газоочистными установками в г. Гродно (до 27,3 тыс. т) при незначительном изменении этого показателя в течение 2010–2015 гг.

Таблица 11

Использовано загрязняющих веществ, уловленных газоочистными установками, по областным городам, тыс. т [1]

Table 11

Used pollutants trapped by gas treatment facilities by the regional cities, thousand tons [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
г. Брест	1,4	1,4	1,2	0,9	1,0	2,5	2,3
г. Витебск	53,3	53,3	53,5	53,5	53,5	53,1	53,1
г. Гомель	47,8	46,4	61,5	69,5	64,4	62,1	65,7
г. Гродно	47,6	47,9	47,9	48,8	53,7	46,3	27,3
г. Могилев	3,8	5,1	5,5	3,7	1,8	13,6	15,4

Удельные выбросы

В пересчете на душу населения удельный валовый выброс от стационарных источников составил по республике 48 кг/чел в 2016 г. В пределах областей наиболее высокое значение данного показателя установлено для Витебской (91 кг/чел.) и Гомельской (74 кг/чел.), самое низкое – для Минска (9 кг/чел.) (табл. 12).

Таблица 12

**Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников
в расчете на одного жителя по областям и г. Минску, кг [1]**

Table 12

Emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources per one resident by regions and Minsk city, kg [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Республика Беларусь	40	39	46	47	49	48	48
Брестская	20	19	25	28	37	36	37
Витебская	77	76	91	88	85	94	91
Гомельская	58	60	67	72	71	70	74
Гродненская	42	41	46	50	56	54	51
г. Минск	17	14	14	13	12	10	9
Минская	36	37	49	51	53	54	53
Могилевская	41	41	45	45	47	41	40

Среди городов страны самые значительные удельные выбросы приходятся на г. Ново-полоцк (472 кг/чел.) и г. Жлобин (129 кг/чел.); на г. Слуцк – 46 кг/чел. и г. Светлогорск – 29 кг/чел.

Наименьшей величиной (5 – 10 кг/чел.) характеризуются города: Мозырь (5 кг/чел.), Барановичи (7 кг/чел.), Витебск (8 кг/чел.); Брест, Минск, Пинск (по 9 кг/чел.), Молодечно (10 кг/чел.) (табл. 13).

Таблица 13

**Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в расчете
на одного жителя в отдельных городах, кг [1]**

Table 13

Emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources per one resident in cities, kg [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Барановичи	11	10	10	15	8	7	7
Бобруйск	36	31	30	28	24	20	17
Борисов	16	15	19	20	19	13	13
Брест	9	9	11	11	10	10	9
Витебск	10	14	13	10	10	9	8
Гомель	23	18	18	14	16	14	17
Гродно	34	31	34	30	28	27	26
Жлобин	85	84		118	121	102	129
Жодино	30	26	28	25	18	16	17
Лида	20	22	25	26	21	23	24
Минск	17	14	14	13	12	10	9
Могилев	18	19	19	18	15	17	16
Мозырь	4	4	4	5	16	6	5
Молодечно	18	18	17	14	12	11	10
Новополоцк	480	485	636	498	481	562	472
Орша	30	27	31	17	17	18	19
Пинск	17	12	11	11	8	9	9
Полоцк	23	20	20	23	27	25	20
Речица	35	24	22	16	19	19	21
Светлогорск	47	38	40	34	40	37	29
Слуцк	60	55	60	53	46	37	46

Величина удельного валового выброса, рассчитанная на единицу площади, в 2016 г. составила 2,2 т/км², изменяясь от 1,4 т/км² (для Могилевской обл.) до 51,9 т/км² (г. Минск). Для остальных областей этот показатель находился в пределах от 1,6 т/км² до 2,7 т/км² (табл. 14).

Таблица 14

**Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников
в расчете на кв. км территории по областям и г. Минску, кг [1]**

Table 14

Emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources per sq. km by regions and Minsk city, kg [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Республика Беларусь	1 817	1 788	2 087	2 145	2 229	2 208	2 182
Брестская	872	828	1 061	1 196	1 580	1 533	1 571
Витебская	2 359	2 302	2 758	2 643	2 560	2 796	2 695
Гомельская	2 052	2 116	2 363	2 543	2 517	2 467	2 591
Гродненская	1 777	1 746	1 924	2 117	2 340	2 248	2 142
г. Минск	100 775	83 853	76 353	72 198	67 517	58 351	51 928
Минская	1 281	1 302	1 738	1 781	1 870	1 905	1 879
Могилевская	1 531	1 541	1 667	1 660	1 722	1 506	1 453

Выбросы загрязняющих веществ по видам экономической деятельности

Следует отметить, что структура выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников по видам экономической деятельности характеризуется увеличением удельного веса сельскохозяйственных организаций. Так, в 2010 г. выбросы от сельского хозяйства составляли 49,5 тыс. т (13,1 %), в 2015 г. их доля возросла до 33,8 % (154,7 тыс. т). Наблюдается увеличение в 2015 г. доли выбросов от транспорта и связи, а также уменьшение вклада в валовый выброс строительных организаций (в 2 раза) по сравнению с 2010 г. Удельный вес иных видов экономической деятельности в 2015 г. по сравнению с 2010 г. существенно не изменился, за исключением категории «производство и распределение электроэнергии, газа и воды» [1].

Основной объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников среди видов экономической деятельности в 2016 г., как и в предыдущий год, приходился на обрабатывающую промышленность – 176,8 тыс. т (39,0 %) и сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство – 163,2 тыс. т (36,0 %) от общего объема выбросов от стационарных источников (рис. 3).

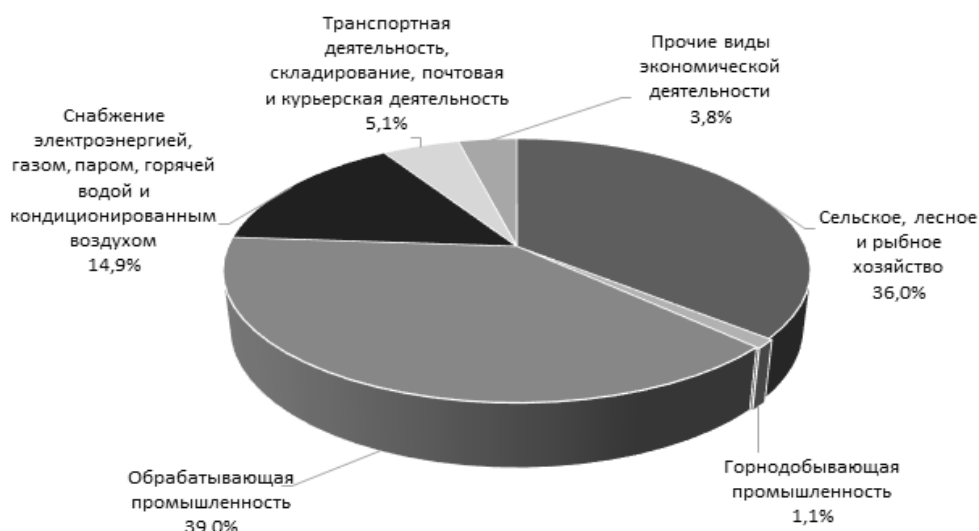


Рис. 3. Структура выбросов загрязняющих веществ по видам экономической деятельности в 2016 г.

Fig. 3. The structure of pollutant emissions by economic activities in 2016

Вклад обрабатывающей промышленности в 2016 г. по сравнению с 2015 г. уменьшился на 7,6 тыс. т (на 4,1 %). В целом доля промышленности (включая обрабатывающую, горнодобывающую и снабжение

электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом, а также водоснабжение; сбор, обработка и удаление отходов, деятельность по ликвидации загрязнений) в 2016 г. составила 57,0 % от общего объема выбросов по республике. Кроме промышленности, определенный вклад в валовые выбросы вносят транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность – 23,0 тыс. т (5,1 %) (табл. 15).

Таблица 15

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух по отдельным ингредиентам и видам экономической деятельности за 2016 г.¹⁾ [1]

Table 15

Pollutants emissions into the atmosphere by individual ingredients by economic activity for the year 2016¹⁾ [1]

	Выброшено в атмосферный воздух загрязняющих веществ – всего, тыс. т	В том числе							
		твердых	диоксида серы	оксида углерода	диоксида азота	оксида азота	углеводородов	НМЛОС	прочих
Республика Беларусь	453,1	27,4	53,3	73,1	50,8	5,9	158,8	54,0	29,7
в том числе:									
• сельское, лесное и рыбное хозяйство	163,2	3,6	0,5	2,2	0,9	0,1	129,5	1,7	24,8
• горнодобывающая промышленность	5,0	1,5	0,0	0,8	0,7	0,1	0,1	1,8	0,0
• обрабатывающая промышленность	176,8	13,0	44,0	40,8	26,6	1,5	4,7	43,0	3,1
• снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом	67,7	6,6	8,1	18,7	20,7	3,5	6,6	2,5	0,9
• водоснабжение; сбор, обработка и удаление отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	8,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	7,3	0,4	0,6
• строительство	4,3	1,7	0,2	1,7	0,2	0,0	0,0	0,4	0,0
• оптовая и розничная торговля	2,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	1,6	0,2
• ремонт автомобилей и мотоциклов									
• транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность	23,0	0,3	0,2	7,9	1,5	0,6	10,0	2,4	0,0
• операции с недвижимым имуществом	0,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
• деятельность в сфере административных и вспомогательных услуг	0,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
• государственное управление	0,4	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹⁾ В соответствии с общегосударственным классификатором Республики Беларусь «Виды экономической деятельности» ОКРБ 005-2011.

¹⁾ In accordance with the general classifier of the Republic of Belarus "Types of economic activities" OKRB 005-2011.

Основными веществами в составе выбросов от **сельского, лесного и рыбного хозяйства** являются углеводороды (79,3 %) и прочие вещества (15,2 %). На долю твердых веществ и оксида углерода приходится 2,2 % и 1,3 % соответственно; на остальные вещества – 2 %. Для **горнодобывающей** промышленности характерны выбросы НМЛОС (36,0 %), твердых веществ (30,0 %), оксида углерода (16,0 %),

диоксида азота (14,0 %). В структуре выбросов загрязняющих веществ от **обрабатывающей промышленности** в 2016 г. преобладали диоксид серы (24,9 %), НМЛОС (24,3 %), оксид углерода (23,1 %), диоксид азота (15,0 %). Выбросы от **снабжения электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом** распределяются следующим образом: диоксид азота – 30,5 %, оксид углерода – 27,6 %, диоксид серы – 12 %, углеводороды – 9,7 %, твердые вещества – 9,7 %. Структура выбросов загрязняющих веществ от **транспорта и связи** следующая: 43,5 % – углеводороды, 34,3 % – оксид углерода, 10,4 % – НМЛОС, 6,5 % – диоксид азота (табл. 15).

Проведенный анализ сводной статистической отчетности, полученной на основании обработки формы 1–воздух (Минприроды), показал, что она является источником обширной экологической информации, позволяющей с различных позиций интерпретировать имеющиеся данные и доказательно обеспечить принятие необходимых организационных, а также и технологических решений для улучшения состояния окружающей среды в Республике Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. Минск, 2017.
2. Информационный ресурс. Государственный кадастр атмосферного воздуха. 2017.

References

1. Environmental protection in the Republic of Belarus. *Nat. stat. com. of the Republic of Belarus*. Minsk, 2017 (in Russ.).
2. Information resource. *The state cadaster of atmospheric air*: 2017 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 06.02.2018
Received by editorial board 06.02.2018

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. МИРОНОВ¹⁾, А. Ю. ШИШКИН¹⁾, Ю. К. ТРЕЙС²⁾, А. А. ПОЛЯКОВ¹⁾

¹⁾Рижский технический университет, ул. Калку 1, LV-1658, Рига, Латвия

²⁾SIA Corvus CO, ул. Рупниецibas, 52, LV-1045, Рига, Латвия

Рассмотрен и исследован метод очистки сточных вод, содержащих медь, с использованием порошков железа. Предложена новая технология быстрого ввода, диспергирования и смешивания железных порошков с ионами меди (CuSO_4), содержащихся в сточных водах ($\text{pH}=2,0 \div 3,0$), образующихся при выполнении ряда технологических процессов. В исследованиях использовался высокоскоростной диспергатор-кавитатор. Проведено сравнение его работы со стандартной лабораторной смесительной установкой пропеллерного типа для оценки влияния параметров устройств смешивания различного типа, которые связаны с эффективностью процесса экстракции меди. Для каждого испытания длительностью от 1 до 10 мин перемешивания использовалось 1500 мл сточных медьсодержащих растворов. Использование диспергатора-кавитатора при экстракции меди оказалось более эффективным по сравнению с устройством перемешивания пропеллерного типа. Степень извлечения Cu^{2+} повысилась на 88 %, а длительность процесса сократилась на 30 %.

Ключевые слова: медьсодержащие растворы; железные порошки; диспергатор-кавитатор; экстракция меди.

EXTRACTION OF COOPER FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING IRON POWDER

V. A. MIRONOV^a, A. Y. SHISHKIN^a, YU. K. TREJS^b, A. A. POLYAKOV^a

^aRiga Technical University, Kalku street, 1, LV-1658, Riga, Latvia

^bSIA Corvus CO, Rūpniecības street, 52, LV-1045, Rīga, Latvia

Corresponding author: viktors.mironovs@gmail.com

The method of purification of wastewater containing copper with the use of iron powders is considered and investigated. A new technology for the rapid introduction, dispersion and mixing of iron powders with copper ions (CuCO_4) contained in wastewater ($\text{pH} = 2,0 / 3,0$), formed during the execution of a number of technological processes, is proposed. The study used a high-speed dispersant-cavitator. A comparison is made of its operation with a standard propeller-type laboratory mixing plant to evaluate the effect of the parameters of mixing devices of various types that are related to the efficiency of the copper extraction process. The use of a dispersant-cavitator in the extraction of copper proved to be more effective than the propeller-type mixing device. The degree of recovery of Cu^{2+} increased by 88%, and the duration of the process was reduced by 30 %.

Key words: copper-containing solutions, iron powders, dispersant-cavitator, copper extraction.

Образец цитирования:

Миронов В. А., Шишкин А. Ю., Поляков А. В., Трейс Ю. К. Извлечение меди из водных растворов с использованием железных порошковых материалов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 97–102.

For citation:

Mironov V. A., Shishkin A. Y., Polakov A. V., Treijs J. K. Extraction of cooper from aqueous solutions using iron powder materials. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 97–102 (in Russ.).

Авторы:

Виктор Александрович Миронов – доктор технических наук; профессор кафедры строительного производства, руководитель лаборатории порошковых материалов.

Андрей Юрьевич Шишкин – докторант.

Александр Васильевич Поляков – кандидат технических наук; старший научный сотрудник лаборатории порошковых материалов.

Юрис Карлович Трейс – докторант.

Authors:

Victor A. Mironov, doctor of science (engineering); professor of the department of building production, head of the laboratory of powder materials.

viktors.mironovs@gmail.com

Andrei Y. Shishkin, doctoral student.

andrei.shishkin@gmail.com

Aliaksandr V. Polyakov, PhD (engineering); senior researcher of the laboratory of powder materials.

poluakov@corvus.lv

Juris K. Treijs, doctoral student.

juristreijs@inbox.lv

Введение

Проблема извлечения меди из водных растворов является весьма актуальной. Мировое производство меди составляет 12–15 млн т, а разведанные мировые запасы меди достигают почти 1 млрд т [1]. Группа аналитиков Metal Research провела очередное новое исследование мирового и российского рынка меди и медного проката за последние годы [2]. В данном исследовании общие запасы меди в мире на начало 2017 г. оцениваются в 720 млн т. Структура запасов меди по странам распределилась следующим образом. На первом месте Чили с долей 29 % в мировых запасах, на втором месте – Австралия (12 %), далее Перу (11%), Мексика (6 %), США (5 %), Китай и Россия (4 % соответственно). Мировые мощности по добыче меди в 2016 г. увеличились на 4,4 % и достигли 23 млн т. Среди крупнейших добывающих компаний можно отметить Escondida, CodelcoNorte, RadomiroTomic и др.

Более всего производство меди развито в Чили (34 %), США (13 %). В России уровень производства меди оценивается в 4 % от общего мирового производства. Для сравнения: в Казахстане объем производства меди составляет 3 %, а в Китае – 5 %. Основными производителями меди в России являются: Норильский никель (425 тыс. т, 45 %), Уралэлектромедь (351 тыс. т, 37 %), Русская медная компания (166 тыс. т, 18 %) [3]. Лидерами в области производства меди в мире являются такие компании, как Cobelco, BHP ltd, Rio Tinto и др. Цены на медь и продукцию из нее достаточно высокие. К концу 2016 г. она несколько снизилась – до 5 тыс. дол. за т [2]. Тем не менее, исходя из прогнозов потребления меди, можно ожидать увеличения спроса в мире. Сейчас цены устойчиво зафиксировались в ценовом диапазоне 5,5–6 тыс. дол. за т.

Важным является снижение расходов на процессы извлечения меди из обедненных растворов, а также повторное использование меди, содержащейся в отходах. Известно большое количество технологических процессов, связанных с меднением. Один из них – производство печатных плат [4]. Во время приготовления и использования медно-аммиачных травильных растворов доля меди в высушенном шламе достигает 40–47 %.

Другой концентрированный медьсодержащий отход – сельскохозяйственный ядохимикат купрозан с истекшим сроком хранения. Основу купрозана составляют гидроксохлорид меди (65 %). Существующая практика нейтрализации ядохимикатов основана на их централизованном сборе и высокотемпературной деструкции на специальных полигонах [5]. Медь и другие металлы при этом безвозвратно теряются.

В промышленных условиях для осаждения меди нашли применение два способа: цементация и электролиз. Выбор способа осаждения меди определяется ее содержанием в растворах. Для больших производств и богатых медью растворов предпочитают электроосаждение. Этим способом получается медь высокой чистоты и регенерируется серная кислота, при этом возможно осуществлять замкнутый процесс. Если содержание меди (меньше 15 г/л), то применение метода электроосаждения не эффективно. Для таких растворов применяют метод цементацией железом [6].

Для оценки возможности применения метода, а также вида используемого цементирующего материала учитывается соответствие их электродных потенциалов (табл. 1). Железо наиболее эффективно применять для удаления из растворов золота, серебра и меди, чей электродный потенциал выше, чем у железа [7]. Для никеля, кобальта, кадмия и некоторых других металлов железо также можно использовать, но с гораздо меньшей эффективностью. А для таких металлов, как хром и цинк способ цементации железом является малопригодным.

Таблица 1

Электродный потенциал некоторых металлов

Table 1

The electrode potential of some metals

Металл	Реакция	Электродный потенциал
Au	$\text{Au} = \text{Au}^3 + 3\text{e}^-$	+1,42
Ag	$\text{Ag} = \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+0,80
Cu	$\text{Cu} = \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,34
Fe	$\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	–0,44
Ni	$\text{Ni} = \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	–0,29
Co	$\text{Co} = \text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	–0,28

Для проведения метода цементации железом при извлечении меди целесообразно использовать мелко раздробленные металлы. По степени активности железосодержащие осадители в процессах цементации меди можно расположить следующим образом: 1) жестяной скрап (без олова); 2) губчатое железо; 3) тонколистовое железо; 4) серый чугун; 5) сталь; 6) белый чугун. Ковкое и губчатое железо дают крупный осадок меди, серый чугун – рыхлый и губчатый, а белый чугун и сталь дают наиболее плотный осадок.

В работе [6] описан метод извлечения меди из хлоридных водных растворов с использованием кускового железа. Недостаток такого метода в том, что в водный медьсодержащий раствор предварительно вводят хлориды натрия и калия до их суммарной концентрации в растворе от 50 до 300 кг/м³, а также соляную кислоту в количестве от 10 до 50 кг/м³. На практике чаще всего применяют железный скрап и серый чугун, по возможности не содержащие ржавчины [8].

Недостаток метода по извлечению меди из шлаковых систем цементацией чугуном состоит в низкой производительности и недостаточной эффективности процесса (извлечение меди не превышает 60 %). Осаждение меди железным скрапом более эффективно, однако скрап необходимо тщательно сортировать и подготавливать. Процесс обычно ведут при температуре 50–100 °С. При этом получают осадок с содержанием меди в порошке порядка 90 %.

Многие исследования направлены на повышение эффективности процесса цементации. Так, в работе [5] показано, что извлечение меди, никеля и кобальта при цементации их в расплавах при повышенной температуре (до 900–1200 °С) может быть увеличена до 96–98 %. Естественно, что здесь нужно считаться с энергетическими и техническими затратами. Известно, что скорость процесса цементации в расплавах значительно возрастает при перемешивании расплавов, например инертным газом [6]. В ряде случаев для повышения производительности можно использовать встряхивание емкостей с раствором [7]. Процесс также можно интенсифицировать, если его вести в быстро вращающемся барабане [9].

Материалы и методы исследования

Задачей настоящего исследования является описание метода очистки сточных вод, содержащих медь, с помощью железного порошка. При этом для осуществления процесса цементации впервые предполагалось использовать высокоскоростной диспергатора-кавитатора [11] (рис. 1). Необходимо было также провести сравнение его работы со стандартной лабораторной смесительной установкой пропеллерного типа (рис. 2).

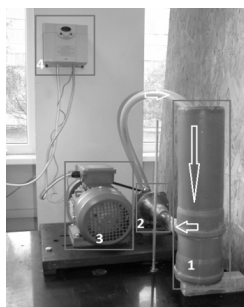


Рис. 1. Устройство с диспергатором: 1 – контейнер; 2 – диспергатор с насосом; 3 – электродвигатель

Fig. 1. Device with a dispersant: 1 – the container; 2 – dispersant with pump; 3 – electric motor



Рис. 2. Мешалка пропеллерного типа

Fig. 2. Propeller-type agitator

Для экстракции меди применялись порошки железа производства компании Hognas AB: CMS (X), АНС 100.29 (Y) (табл. 2) [12, 13].

Таблица 2

Некоторые физические свойства порошков, используемые для цементации меди

Table 2

Some physical properties of powders used for copper carburizing

Марка порошка	CMS	АНС 100.29	NC 100.24	SC 200.26
Средний размер частиц, мкм	40–50	80–100	70–100	50–80
Насыпная плотность, г/см ³	2,83	2,98	2,45	2,65
Твердость, HV ₁₀	50–52	55–65	50–60	50–55

Для каждого опыта с интервалом времени от 1 до 10 мин использовалось 1500 мл сточных вод ($\text{MrCu} = 63,55 \text{ г/моль}$; $\text{Cu}^{2+} = 0,5 \text{ г/л}$ ($0,007 \text{ мол/л}$). Параметры исходного медьсодержащего раствора приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-химические параметры медьсодержащего раствора

Table 3

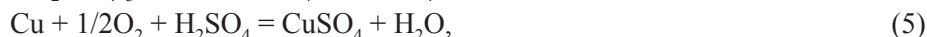
Physicochemical parameters of copper-containing solution

Параметр	Величина	Размерность
pH	2,95	pH
Cu^{2+}	750 ± 10	mg/L
Pb^{+}	0,250	mg/L
SO_4^{2-}	20.000	mg/L
CN^{-}	$<0,050$	mg/L
Cr^{6+}	$\geq 0,005$	mg/L
Ni^{2+}	$\geq 4,000$	mg/L
$\text{Hg}^{+} + \text{Hg}^{2+}$	$\geq 0,005$	mg/L
NO_3^{-}	$<0,010$	mg/L
$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	6600 ± 100	mg/L
Другие катионы: $\text{Al}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$	$<< 300$	mg/L

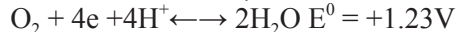
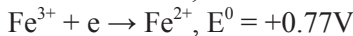
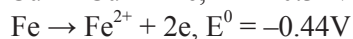
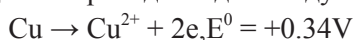
Процесс цементации $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^0 \rightarrow \text{Cu}^0 + \text{Fe}^{2+}$ в кислой среде может быть описан с помощью уравнений (1–3):



Одновременно протекают реакции (4–6):



Стандартные электродные потенциалы приведены для следующих систем [10]:



Концентрация ионов меди в растворе при равновесии может быть вычислена по уравнению Нернста [6]. Она составляет порядка $C_{\text{Cu}^{2+}} = 1,3 \cdot 10^{-27}$. В этом случае реакция цементации может считаться как протекающая полностью.

Поскольку железные порошки имеют явно выраженные ферромагнитные свойства, то для их удаления из раствора вместе с адсорбированной медью использовался постоянный магнит. Необходимое расчетное минимальное количество железного порошка железа NC100.24 в соответствии с реакцией (1) и начальной концентрацией Cu^{2+} составило $0,441 \text{ г/л}$. В экспериментах использовалось в 3–4 раза больше расчетного, поскольку порошок, который не участвовал в реакции, мог быть легко отделен от раствора магнитом. Концентрация железа при этом составляла 1764 г/л .

Для эффективного извлечения меди из раствора целесообразно периодически удалять с поверхности частиц железа вновь образовавшиеся частички меди, а также интенсифицировать микроциркуляцию раствора в пористой структуре железного порошка. По нашему мнению, этому может способствовать явление кавитации. Ранее в работах [6; 7] использовался метод ультразвуковой кавитации на частоте между 28 и 50 кГц. Однако он достаточно сложен и требует больших временных затрат. Негативным фактором является также риск для здоровья от ультразвуковых излучений. Нами предложено использование для интенсификации процесса цементации высокоскоростного кавитатора ротационного действия (рис. 1)

с числом оборотов до 6000 в мин [11]. Гидродинамический кавитационный диспергатор состоит из статора с конической крышкой, набора дисков с зубьями, входящими в прямоугольные углубления и установленных между ними промежуточных дисков и насосной крыльчатки. Прямоугольные углубления зубьев могут быть выполнены прямыми, с вогнутым участком на плоскости со стороны зубчатого диска, либо с кольцевыми канавками.

Предполагается, что при коммерческой реализации метода (для потока $H = 100\text{--}300 \text{ м}^3/\text{ч}$) необходимо будет процесс повторять несколько раз. На окончательном этапе процесса суспензия, содержащая Fe^0 и Cu^0 , направляется через магнитный фильтр для отделения оставшихся ионов железа Fe^0 , а затем проходит через механический фильтр для извлечения тонкодисперсного порошка меди Cu^0 . Микроструктура порошка до и после процесса цементации показана на рис. 3.

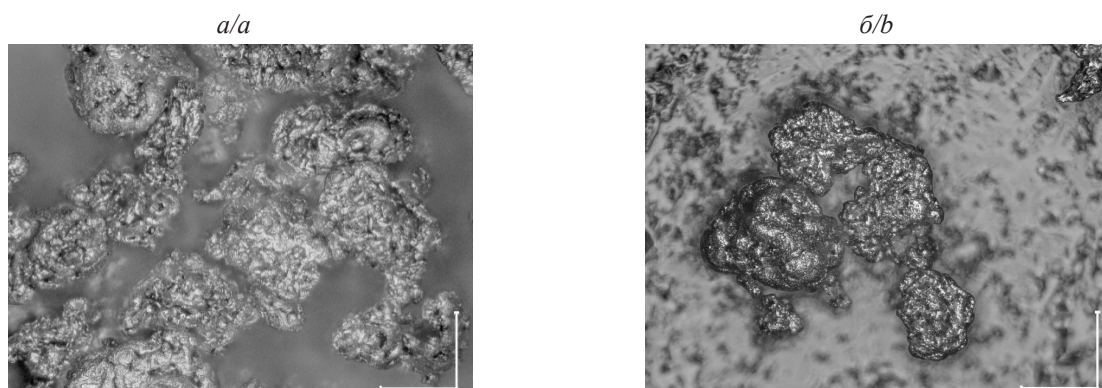


Рис. 3. Частицы порошка NC 100.24 до (а) и после цементации (б) с использованием диспергатора-кавитатора

Fig. 3. Particles of powder NC 100.24 before (a) and after cementation (b) using a dispersant-cavitator

Закключение

Таким образом, при обработке порошка с использованием явления кавитации процесс экстракции меди становится более эффективным, по сравнению со стандартным экспериментом на пропеллерной мешалке (рис. 4).

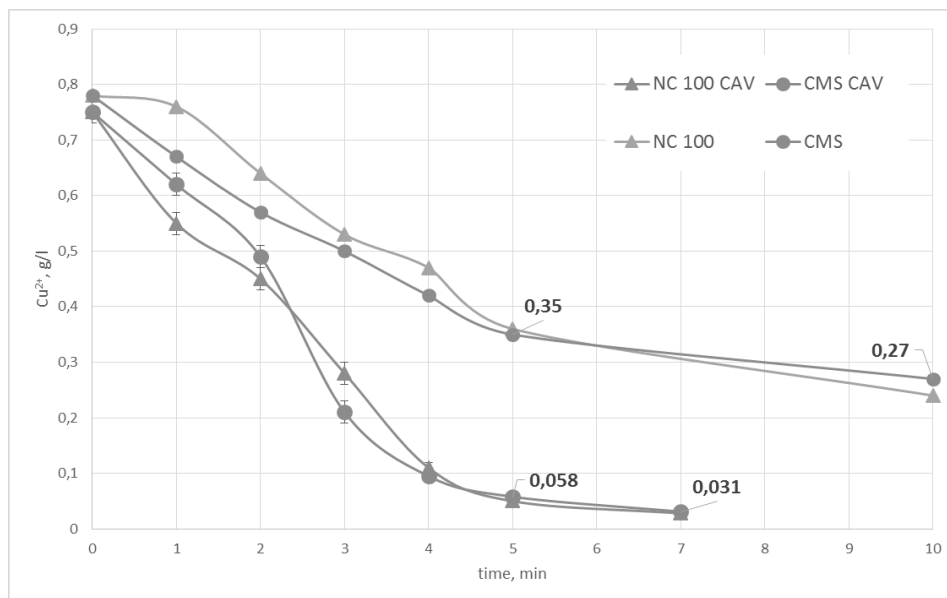


Рис. 4. Изменение концентрации Cu^{2+} с увеличением времени обработки: NC 100 CAV – обработка порошка NC 100.24 с использованием кавитации; NC 100 – обработка порошка NC100.24 без кавитации; CMSCAV – обработка порошка CMS с использованием кавитации; CMS – обработка порошка CMS без кавитации

Fig. 4. Change in Cu^{2+} concentration with increasing treatment time: NC 100 CAV – treatment of powder NC 100.24 using cavitation; NC 100 – processing of NC100.24 powder without cavitation; CMSCAV – powder processing CMS using cavitation; CMS – processing of CMS powder without cavitation

При этом степень экстракции Cu^{2+} повышается, особенно в конце эксперимента (88,5 %). В тоже время имеет место сокращение времени процесса (до 30 %). Следует отметить, что температура сточных вод повышалась до 35 °С, что зафиксировано в конце эксперимента (на 7-й минуте). В контрольной схеме температура была постоянной (18 °С) в течение всего времени эксперимента.

Библиографические ссылки

1. Мировой и российский рынок меди. Metal Research, 2012. URL: www.metalresearch.ru (дата обращения: 03.12.2017).
2. Ашихмин А. А. Проблемы сырьевого обеспечения производств цветных металлов в России: системные эффекты целевых программ освоения и расширения минерально-сырьевой базы. Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса в 21 веке: материалы междунар. конф. М., 2004. С. 196–198.
3. Мировой рынок меди. URL: www.cmmarket.ru/markets/cuworld.html (дата обращения: 12.12.2017).
4. Брусницына Л. А., Степановских Е. И. Технология изготовления печатных плат. Екатеринбург, 2015.
5. Купрозан. Большая энциклопедия нефти и газа. URL: <http://www.ngpedia.ru/id123268p2.html> (дата обращения: 27.12.2017).
6. Епископосян М. Л., Каковский И. А. Изучение кинетики цементации меди и серебра металлическим железом из хлоридных растворов // Цветные металлы. 1965. Т. 38, № 10. С. 15–19.
7. Набойченко С. С., Заузолков И. В., Шабалин В. Проблемы регенерации растворов медьэлектролитного производства // Цветные металлы. 1990. № 1. С. 42–46.
8. Annamalai V., Murr L. E. Influence of deposit morphology on the kinetics of copper cementation on pure iron // Hydrometallurgy. 1997. № 4. P. 57–82.
9. Stefanowicz T., Osinska M., Napieralska-Zagodzka S. Copper recovery by the cementation method // Hydrometallurgy. 1997. № 47. P. 69–90.
10. Hõganäs AB. Cementation processes. 4.4.2002.
11. Polyakov A., Polyakova E. Hydrodynamic cavitation homogenizer. Patent LV 15143, 20.07.2016.
12. Миронов В., Земченков В., Лапковский А. и др. Исследования свойств порошковых ферромагнитных сорбентов для сбора нефтепродуктов с водной поверхности // Экологический вестник. 2013. № 1 (23). С. 32–40.
13. Hõganäs Handbook for Sintered Components. Band. 3. Design and Mechanical Properties. 1997.

References

1. Global and Russian copper market. Metal Research, 2012. URL: <http://www.metalresearch.ru> (date of access: 03.12.2017).
2. Ashihmin A. A. [Problems of raw materials supply of non-ferrous metals production in Russia: systemic effects of targeted programs for the development and expansion of the mineral and raw materials base]. *The Strategy of the Development of the Mineral and Raw Materials Complex in the 21st Century*: proceedings of the International Conference. Moscow, 2004. P. 196–198 (in Russ.).
3. World copper market [Electronic resource] URL: <http://www.cmmarket.ru/markets/cuworld.htm> (date of access: 12.12.2017).
4. Brusnitsyna L. A., Stepanovskiykh Y. I. [Technology for producing printed circuit boards]. Yekaterinburg, 2015 (in Russ.).
5. Cuprozan. Big Encyclopedia of Oil and Gas. [Electronic resource]. URL: <http://www.ngpedia.ru/id123268p2.html> (date of access: 27.12.2017).
6. Epikoposyan M. L., Kakovsky I. A. [The study of the kinetics of cementation of copper and silver with metal iron from chloride solutions]. *Tsvetnye metalli*. 1965. T. 38, No. 10. P. 15–19 (in Russ.).
7. Naboychenko S. S., Zauzolkov I. B., Shabalin V. [The problem of regeneration solutions of the copper-electrolyte production]. *Non-ferrous metals*. 1990. No. 1. P. 42–46 (in Russ.).
8. Annamalai, V., Murr L. E. Influence of deposit morphology on the kinetics of copper cementation on pure iron. *Hydrometallurgy*. 1997. No. 4. P. 57–82.
9. Stefanowicz, T., Osinska, M., Napieralska-Zagodzka, S. Copper recovery by the cementation method. *Hydrometallurgy*. 1997. No. 47. P. 69–90.
10. Hõganäs AB. Cementation processes. 4.4.2002.
11. Polyakov, A., Polyakova, E. Hydrodynamic cavitation homogenizer. Patent LV 15143, 20.07.2016.
12. Mironov V., Zemchenkov V., Lapkovsky A., et al. [Study of the properties of the ferromagnetic powder sorbents for collecting oil products from the water surface]. *Ekologicheskii vestnik*. 2013. No. 1 (23). P. 32–40 (in Russ.).
13. Hõganäs Handbook for Sintered Components. Band. 3. Design and Mechanical Properties, 1997.

Статья поступила в редколлегию 07.02.2018
Received by editorial board 07.02.2018

УДК 343.98+56:581

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ «МАТЬ-И-МАЧЕХИ ЛИСТЬЯ» (*TUSSILAGINIS FARFARAE FOLIA*) РАЗНОГО ЭКОЛОГО- ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Т. Б. РЫЛОВА¹⁾, С. С. ПОЗНЯК²⁾, О. М. КОНОПЕЛЬКО²⁾, А. Н. ХОХ¹⁾

¹⁾Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь,
ул. Филимонова, 25, 220070, Минск, Беларусь

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

Проанализирован состав спорово-пыльцевых комплексов образцов одного и того же высушенного и измельченного растительного сырья «мать-и-мачехи листья» (*Tussilaginifolia farfarae folia*) из партий разных производителей. В результате выявлено, что изученные образцы каждого производителя различаются по составу и процентному соотношению доминирующих таксонов пыльцы, то есть имеют четкие различия по ряду признаков, свойственных конкретному производителю. В тоже время образцы из каждой отдельной партии имеют практически идентичный комплекс признаков, свойственный только для данной партии растительного сырья.

Ключевые слова: спорово-пыльцевые комплексы; лекарственное сырье; эколого-географическое происхождение; качественные и количественные признаки; партия; доминирующие таксоны.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SPORE-POLLEN COMPLEXES OF COLTSFOOT CRUDE DRUG (*TUSSILAGINIS FARFARAE FOLIA*) OF DIFFERENT ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL ORIGIN

T. B. RYLOVA^a, S. S. PAZNIAK^b, O. M. KONOPELKO^b, A. N. KHOKH^a

^aScientific and Practical Centre of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus,
Philimonova street, 25, 220114, Minsk, Belarus

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

Corresponding author: rylova_tatyana18@mail.ru

Образец цитирования:

Рылова Т. Б., Позняк С. С., Конопелько О. М., Хох А. Н. Сравнительный анализ спорово-пыльцевых комплексов лекарственного растительного сырья «мать-и-мачехи листья» (*Tussilaginifolia farfarae folia*) разного эколого-географического происхождения // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 103–112.

For citation:

Rylova T. B., Pazniak S. S., Konopelko O. M., Khokh A. N. Comparative analysis of spore-pollen complexes of coltsfoot crude drug (*Tussilaginifolia farfarae folia*) of different ecological-geographical origin. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 103–112 (in Russ.).

Авторы:

Татьяна Борисовна Рылова – доктор геолого-минералогических наук; главный научный сотрудник лаборатории исследования материалов, веществ и изделий.

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

Ольга Михайловна Конопелько – магистрант кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

Анна Николаевна Хох – научный сотрудник лаборатории исследования материалов, веществ и изделий.

Authors:

Tatyana B. Rylova, doctor of science (geology and mineralogy); chief researcher of the laboratory for the study of materials, substances and products.

rylova_tatyana18@mail.ru

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

pazniak@iseu.by

Olga M. Konopelko, master student of the department of monitoring and management.

olga95_kon@mail.ru

Anna N. Khokh, research associate of the laboratory for the study of materials, substances and products.

lann1hoh@gmail.com

The composition of spore-pollen complexes of samples of the same dried and crushed vegetable raw materials of coltsfoot leaves (*Tussilaginifarfaraefolia*) of different manufacturers was analyzed. As a result, it was shown that the samples of each producer differ in the composition of the dominant pollen taxa, as well as in the percentage ratio of dominant taxa, i.e. there are clear differences in a number of features specific to a particular manufacturer. At the same time, samples from each individual batch have an almost identical set of characteristics specific only for this batch of plant raw materials.

Key words: spore-pollen complexes; crude drug; ecological-geographical origin; qualitative and quantitative characteristics; batch; dominant pollen taxa.

Введение

Спорово-пыльцевой метод (СПМ) включает в себя совокупность приемов и сведений из разных областей ботаники, географии, геологии [1]. В его основе лежат знания морфологических признаков и умение исследователя отосить обнаруженную пыльцу и споры к определенным семействам, родам и видам.

Микроскопические размеры способствуют распространению пыльцевых зерен и спор ветром, водой и насекомыми, в результате чего они оседают на поверхности суши, водоемов, а также практически на всех окружающих объектах: людях, животных, растениях, машинах и т. д. [2].

В последние годы новым направлением палинологических исследований является изучение пыльцы и спор растений, собранных с поверхности объектов материального мира [3]. Результаты подобных исследований могут оказаться востребованными и наиболее информативными при решении ряда задач, связанных с установлением принадлежности нескольких объектов одному источнику происхождения. Это обусловлено тем, что для каждого местонахождения, в зависимости от климатических, растительно-географических и сельскохозяйственных соотношений, характерна своя палинофлора с неповторимыми (индивидуальными) чертами в таксономическом составе.

В данном исследовании представлены результаты сравнения спорово-пыльцевых комплексов (количественно-доминирующие споры и пыльцевые зерна в образце), содержащихся в нескольких сериях образцов высушенного и измельченного сырья одного и того же растения от разных производителей (на примере мать-и-мачехи).

Объекты и методы исследований

Объектами исследования явились пыльцевые зерна (очень редко – споры), которые имелись на частицах травы (листьев) мать-и-мачехи (*Tussilaginifarfaraefolia*).

Экспериментальным материалом служили 2 партии образцов высушенного и измельченного сырья.

Партия 1: образцы 1а, 1б, 1в, 1г, 1д, производитель: ООО «Калина», д. Пищалово, Оршанский р-н, Витебская обл., Республика Беларусь (годен до 06.2016).

Партия 2: образцы 2а, 2б, 2в, 2г, 2д, производитель: ООО «ПАДИС'С», г. Минск, Республика Беларусь (годен до 09.2017).

Каждый образец измельченного растения весом 1,2–1,5 г помещали в химический стакан объемом 100–150 мл из термостойкого стекла, каждый помеченный соответствующим номером. Содержимое стаканов заливали чистой теплой водой до половины объема, размешивали стеклянной палочкой и оставляли на несколько часов, закрыв стаканы сверху чистой бумагой или стеклом, чтобы исключить занесение в стакан пыльцы, содержащейся в воздухе помещения. Затем содержимое каждого стакана выливали через сито с ячейками размером 0,5 мм в другой чистый стакан с тем же номером. Измельченные растительные частицы, собранные в сите, промывали далее при легком помешивании под небольшой струей воды до полного заполнения стакана. После этого каждый стакан с содержимым, включающим пыльцу, споры и мелкие растительные остатки, оставляли для отстаивания на 24 ч. Затем из каждого стакана осторожно сливали воду, а оставшуюся взвесь наливали в коническую пробирку из термостойкого стекла объемом 10 мл и центрифугировали при 2500 оборотах в минуту в течение 5 мин.

Процесс центрифугирования проводили до полного перевода всего осадка из стакана в одну коническую пробирку, собирая, таким образом, в ней весь осадок, содержащий пыльцу, споры и мелкие растительные частицы одного и того же образца. После того, как весь осадок был собран в одной пробирке, к нему приливали 30 % раствор КОН в объеме, превышающем объем осадка в 2–3 раза, и выдерживали в слабо кипящей воде в течение 20 мин. После этого пробирку центрифугировали в течение 5–7 мин при 2500 оборотах в минуту. Раствор щелочи осторожно сливали, оставшийся в пробирке осадок пыльцы и спор заливали чистой водой и вновь центрифугировали. Процесс центрифугирования с водой повторяли несколько раз до нейтральной реакции среды. После сливания воды в последний раз, осадок в пробирке заливали глицерином в объеме, превышающем объем осадка примерно в 2 раза.

Для исследования пыльцы и спор использовали световой бинокулярный биологический микроскоп Nikon ECLIPSE E200 с фотокамерой Delta Pix.

Изучение органического осадка проводили на подвижном препарате. Подсчет и определение таксономической принадлежности пыльцевых зерен и спор проводили при последовательном просмотре препарата параллельными рядами, начиная с нижнего левого угла покровного стекла и заканчивая правым верхним углом при увеличении $\times 400$.

Определение таксонов выполняли с использованием специальных атласов-определителей и сравнительных коллекций [4–6]. Пыльцевые зерна и споры, определенные и подсчитанные в препарате, регистрировали в рабочем журнале, где размещали по группам: 1) пыльца древесных и кустарниковых пород – Arbor Pollen (AP); 2) пыльца травянистых растений и кустарничков – Non Arbor Pollen (NAP); 3) споры. Отдельно отмечали встреченные в препарате другие объекты, например, водоросли, споры грибов, спикеры губок, угольные частицы и т. д. [7–9].

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнение таксономического состава древесных пород (табл.) показало, что в обеих партиях присутствует пыльца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), березы бородавчатой (*Betula pendula*), ольхи серой (*Alnus incana*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*), жимолостных (*Caprifolia seaegen.*), ивы (*Salix sp.*) и яблоневых (*Malacee gen.*).

Выявленные отличия заключаются в следующем: только в образцах партии 1 встречена пыльца ели обыкновенной (*Picea abies*), орешника обыкновенного (*Corylus avellana*) и клена (*Acer sp.*), а пыльцевые зерна вяза (*Ulmus sp.*), дуба черешчатого (*Quercus robur*), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), калины гордовина (*Viburnum sp.*) отмечены только в партии 2.

Если не принимать во внимание пыльцу таксонов, которые отмечены только в 1–2 образцах, то обе партии будут отличаться присутствием пыльцы ивы (*Salix sp.*) только в образцах партии 1, а вяза (*Ulmus sp.*), дуба черешчатого (*Quercus robur*), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*), жимолостных (*Caprifoliacea egen.*) – только в партии 2.

Сравнение таксономического состава пыльцы травянистых растений свидетельствует о том, что в образцах обеих партий представлена пыльца крапивы (*Urtica sp.*), гвоздичных (*Caryophyllacea egen.*), маревых (*Chenopodiacea egen.*), щавеля обыкновенного (*Rumex acetosa*), фиалковых (*Violacea egen.*), капустных (*Brassicacea egen.*), розоцветных (*Rosacea egen.*), бобовых (*Fabacea egen.*), сельдерейных (*Ariacea egen.*), подорожника ланцетовидного (*Plantago lanceolata*), яснотковых (*Lamiacea egen.*), астровых (*Asteracea egen.*), в том числе полыни (*Artemisia sp.*) и василька синего (*Centaurea cyanus*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), злаков (*Poacea egen.*), рогоза широколистного (*Typha latifolia*).

Однако не менее чем в 3 образцах из 5 в обеих партиях присутствует только пыльца крапивы (*Urtica sp.*), маревых (*Chenopodiacea egen.*), капустных (*Brassicacea egen.*), розоцветных (*Rosacea egen.*), сельдерейных (*Ariacea egen.*), подорожника ланцетовидного (*Plantago lanceolata*), астровых (*Asteracea egen.*), в том числе полыни (*Artemisia sp.*), злаков (*Poacea egen.*).

Отличия между партиями 1 и 2 следующие: только в партии 1 представлена пыльца лютика (*Ranunculus sp.*), гречихи (*Fagorugum sp.*), мареновых (*Rubiacea egen.*), но только в партии 2 присутствует пыльца зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*), ворсянковых (*Dipsacacea egen.*), норичника (*Scrophularia sp.*) и рогоза узколистного (*Typha angustifolia*).

Таблица

Таксономический состав и процентное содержание пыльцы и спор, подсчитанных
в измельченном сырье «мать-и-мачехи листья» (*Tussilaginis farfarae folia*)

Table

Taxonomic composition and percentage of pollen and spores calculated in shredded coltsfoot crude drug (*Tussilaginis farfarae folia*)

Мать-и-мачехи листья (<i>Tussilaginis farfarae folia</i>)	Партия №1					Партия №2				
	1а	1б	1в	1г	1д	2а	2б	2в	2г	2д
Общее число пыльцевых зерен, подсчитанных в образце	490	536	558	547	596	790	710	641	694	680
Пыльца древесных пород, %	3,5	5	4	6	4	5	3	3	3,5	2,5
Пыльца травянистых растений, %	96,5	95	96	94	96	95	97	97	96,5	97,5
Таксономический состав пыльцы и спор	Процентное содержание									
Пыльца древесных пород										
<i>Picea abies</i> L. (Karst.) (ель европейская)			0,2							
<i>Pinus sylvestris</i> L. (сосна обыкновенная)	2,5	4	2	3	1,35	0,25	0,15		0,15	0,3
<i>Ulmus</i> sp. (вяз)						0,25		0,15	0,15	
<i>Quercus robur</i> L. (дуб черешчатый)						0,4	0,3		0,15	
<i>Betula pendula</i> Roth (береза бородавчатая)			0,4					0,15		
<i>Betula</i> sp. (береза)	0,4				1,2	0,75	0,15		0,6	0,3
<i>Alnus incana</i> Moench (ольха черная)		0,2	0,2						0,15	
<i>Alnus</i> sp. (ольха)				0,2	0,2	0,12		0,15		0,15
<i>Carpinus betulus</i> L. (граб обыкновенный)						0,25	0,15	0,15		0,15
<i>Corylus avellana</i> L.(орешник обыкновенный)					0,2					
<i>Tilia cordata</i> Mill. (липа сердцевидная)				0,2		2	1,5	1	1	1
<i>Acer</i> sp. (клен)				0,2						
Сaprifoliaceae egen. (жимолостные) = Adoxaceae egen. (адоксовые)	0,2					0,65	1	1	1	0,45
<i>Viburn tinoripulus</i> L. (калина обыкновенная)										0,15
<i>Salix</i> sp. (ива)		0,4	1,3	0,5	0,8	0,25			0,15	
Malaceae egen. (яблоневые)	0,4	0,2	0,2		0,35	0,12		0,15		

Окончание табл.

Ending table

Мать-и-мачехи листья (<i>Tussilaginis farfarae folia</i>)	Партия №1					Партия №2				
	1а	1б	1в	1г	1д	2а	2б	2в	2г	2д
Пыльца травянистых растений и кустарничков										
<i>Ranunculus</i> sp.(лютик)		0,2	0,5	0,5						
<i>Urtica</i> sp.(крапива)	0,6	2	1,5	2,2	2	1	1,5	2	1	3,5
<i>Saryophyllaceae</i> egen.(гвоздичные)	0,4			0,2	0,2	0,12				
<i>Chenopodiaceae</i> egen. (маревые)	1	1	1	1,3	1	5	4,5	4	3,5	3,5
<i>Rumex acetosa</i> L. (щавель обыкновенный)	0,2	0,6	1	0,5	0,8				0,15	
<i>Fagopyrum</i> sp. (гречиха)		0,2								
<i>Hypericum perforatum</i> L. (зверобой продырявленный)							0,15	0,15		0,75
<i>Violaceae</i> egen. (фиалковые)				0,2			0,15			
<i>Brassicaceae</i> egen.(капустные)	0,4	0,4	0,4	0,5		0,12	0,5	0,15	0,15	0,3
<i>Rosaceae</i> egen. (розоцветные)	0,4		0,7	0,2	0,5		0,15	0,15	0,3	
<i>Fabaceae</i> egen.(бобовые)	1	0,75	0,2	0,5	1,35		0,15			
<i>Ariaseae</i> egen. (сельдерейные)	2	1	2,5	2	2	2	1	1,7	5	1,5
<i>Dipsacaceae</i> egen. (ворсянковые)							0,15			
<i>Rubiaceae</i> egen.(мареновые)	0,4		0,2	0,5						
<i>Scrophularia</i> sp.(норичник)						33,5	37	36	31	34
<i>Plantago lanceolata</i> L.	0,4	0,6	0,2			2	0,6	0,5	0,7	0,75
<i>Lamiaceae</i> egen. (яснотковые)	0,2	0,2	0,4	0,7	1	0,4				
<i>Asteraceae</i> egen. (астровые)	56	55,5	53	52	51	11,5	10	9,5	14,5	10
<i>Artemisia</i> sp. (полынь)	1,2	0,6	0,5	0,2	0,7	37	36	36	37	35
<i>Centauria cyanus</i> L. (василек синий)	0,4	0,6	1	1,3	1,5		0,15			
<i>Taraxacum officinale</i> L. (одуванчик лекарственный)		0,2			0,2	0,5	0,6	2	1	2
Росacea egen. (злаки)	32	33,5	33	32	34	4,5	5	4,5	3,5	5,5
<i>Turpha angustifolia</i> L. (рогоз узколистный)						0,12	0,15	1	0,3	
<i>Turpha latifolia</i> L. (рогоз широколистный)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35					1
Неопределенные	0,2					0,12	0,15			
Споры										
<i>Sphagnum</i> sp.				0,2						

Если не принимать во внимание пыльцу таксонов, которые отмечены единично и только в 1–2 образцах, то обе партии будут отличаться присутствием пыльцы лютика (*Ranunculus sp.*), гвоздичных (*Caryophyllaceae gen.*), щавеля обыкновенного (*Rumex acetosa*), бобовых (*Fabaceae gen.*), мареновых (*Rubiaceae gen.*), яснотковых (*Lamiaceae gen.*), василька синего (*Centaurea cyanus*) и рогоза широколистного (*Typha latifolia*) в партии 1, а пыльцы зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*), норичника (*Scrophularia sp.*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и рогоза узколистного (*Typha angustifolia*) в партии 2.

Сравнение таксономического состава спор растений показывает, что в образцах партии 1 отмечена 1 спора сфагнома (*Sphagnum sp.*), а в образцах партии 2 споры отсутствуют.

Доминирующим таксоном среди пыльцы древесных пород в образцах партии 1 является пыльца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), а в образцах партии 2 доминирующие таксоны (представлены в количестве 3 % и более) среди пыльцы древесных пород отсутствуют.

Среди пылевых зерен травянистых растений в образцах партии 1 доминируют астровые (*Asteraceae gen.*) и злаки (*Poaceae gen.*). В образцах партии 2 к доминирующим таксонам относятся следующие: норичник (*Scrophularia sp.*), полынь (*Artemisia sp.*), астровые (*Asteraceae gen.*), злаки (*Poaceae gen.*), маревые (*Chenopodiaceae gen.*), сельдерейные (*Apiaceae gen.*), крапива (*Urtica sp.*).

Сравнение числа таксонов древесных пород и кустарников, а также травянистых растений и спор, выявленных в образцах измельченного растительного сырья «мать-и-мачехи листья» (*Tussilaginifolia*), взятых из партий 1 и 2, представлено в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Сравнение числа таксонов, выявленных в образцах измельченного растительного сырья «мать-и-мачехи листья», взятых из партий 1 и 2

Table 2

Comparison of the number of taxa found in samples of shredded coltsfoot crude drug taken from batches 1 and 2

		Партия 1	Партия 2	Общие таксоны
Число таксонов древесных пород	Семейств	7	8	6
	Родов	8	9	5
	Видов	6	7	4
Число таксонов травянистых растений	Семейств	17	18	16
	Родов	9	9	7
	Видов	5	8	5
Число таксонов споровых растений	Семейств	1	—	—
	Родов	1	—	—
	Видов	—	—	—
Всего таксонов	Семейств	25	26	22
	Родов	18	18	12
	Видов	11	15	9

Таблица 3

Сравнение числа таксонов, выявленных в образцах измельченного растительного сырья «мать-и-мачехи листья», взятых из партий 1 и 2 (за исключением таксонов, представленных не более, чем в 2 образцах и в единичном количестве)

Table 3

Comparison of the number of taxa found in samples of shredded coltsfoot crude drug taken from batches 1 and 2 (except the taxa presented in not more than 2 samples and in a single quantity)

		Партия 1	Партия 2	Таксоны
Число таксонов древесных пород	Семейств	4	6	2
	Родов	4	7	3
	Видов	1	4	1
Число таксонов травянистых растений	Семейств	15	12	9
	Родов	7	7	4
	Видов	4	5	1
Число таксонов споровых растений	Семейств	—	—	—
	Родов	—	—	—
	Видов	—	—	—
Всего таксонов	Семейств	19	18	11
	Родов	11	14	7
	Видов	5	9	2

Данные, представленные в табл. 2 и 3, свидетельствуют, что сравниваемые образцы двух партий измельченного сырья – листьев мать-и-мачехи (*Tussilaginif farfarae folia*) заметно отличаются по числу определенных родов и видов.

На спорово-пыльцевой диаграмме (рис.) для каждого образца представлены:

- соотношение процентного содержания пыльцы древесных пород и травянистых растений, подсчитанное от общей суммы пыльцы;
- процентное содержание пыльцы основных таксонов древесных пород (представлены не менее, чем в 3 образцах из 5), подсчитанное от общей суммы пыльцы;
- процентное содержание пыльцы основных таксонов травянистых растений, (представлены не менее, чем в 3 образцах из 5), подсчитанное от общей суммы пыльцы.

Сравнение процентного содержания пыльцы древесных пород. Как следует из приведенных данных в табл. и на спорово-пыльцевой диаграмме (рис.), в образцах из партии 1 процентное содержание пыльцы древесных пород составляет 3,5–6 %. Эта пыльца принадлежит сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*) – 1,35–4 %, иве (*Salix* sp.) – 0,4–1,3 %, яблоневым (*Malaceae* gen.) – 0,2–0,4 %. Только в 1–2 образцах отмечены единичные пыльцевые зерна ели европейской (*Picea abies*), березы бородавчатой (*Betula pendula*), ольхи серой (*Alnus incana*), орешника обыкновенного (*Corylus avellana*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*), клена (*Acer* sp.) и жимолостных (*Caprifoliaceae* gen.).

В образцах из партии 2 процентное содержание пыльцы древесных пород чуть ниже – 2,5–5 %: липа сердцевидная (*Tilia cordata*) – 1–2 %, жимолостные (*Caprifoliaceae* gen.) – 0,45–1 %, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) – 0,15–0,3 %, вяз (*Ulmus* sp.) – 0,15–0,25 %, дуб черешчатый (*Quercus robur*) – 0,15–0,4 %, береза (*Betula* sp.) – 0,15–0,75 %, ольха (*Alnus* sp.) – 0,12–0,15 %, граб обыкновенный (*Carpinus betulus*) – 0,15–0,25 %. Лишь в 1–2-х образцах представлены единичные пыльцевые зерна березы бородавчатой (*Betula pendula*), ольхи серой (*Alnus incana*) и ивы (*Salix* sp.).

Сравнение процентного содержания пыльцы травянистых растений в партиях 1 и 2 свидетельствует о заметных различиях, которые заключаются в следующем:

- пыльца семейства астровых (*Asteraceae* gen.) в образцах партии 1 содержится в количестве 51–56 %, но значительно менее обильно представлена в образцах партии 2 (9,5–14,5 %);
- пыльца злаков (*Poaceae* gen.) в образцах партии 1 составляет 32–34 %, а в партии 2 – 3,5–5,5 %;
- пыльца норичника (*Scrophularia* sp.), отсутствующая в образцах партии 1, в образцах партии 2 составляет 33,5–37 %;
- пыльца полыни (*Artemisia* sp.) в образцах партии 1 составляет всего 0,2–1,2 %, а в партии 2 – 35–37 %;
- пыльца маревых (*Chenopodiaceae* gen.) в образцах партии 1 составляет 1–1,3 %, в партии 2 ее количество выше – 3,5–5 %;
- пыльца сельдерейных (*Apiaceae* gen.) в образцах партии 1 составляет 1–2,5 %, в партии 2 – 1–5 %;
- пыльца крапивы (*Urtica* sp.) в образцах партии 1 составляет 0,6–2,2 %, а в партии 2 – 1–3,5 %;
- пыльца подорожника (*Plantago lanceolata*) в образцах партии 1 составляет 0,2–0,6 %, а в партии 2 – 0,5–2 %;
- пыльцы цикориевых (*Cichoriaceae* gen.), а именно, одуванчика лекарственного – *Taraxacum officinale*) в образцах партии 1 отмечено по одному пыльцевому зерну в 2 образцах, а в партии 2 она составляет 0,5–2 %;
- пыльца василька синего (*Centaurea cyanus*) в образцах партии 1 отмечена во всех образцах и ее количество составляет 0,4–1,5 %, а в партии 2 эта пыльца представлена лишь одним пыльцевым зерном.

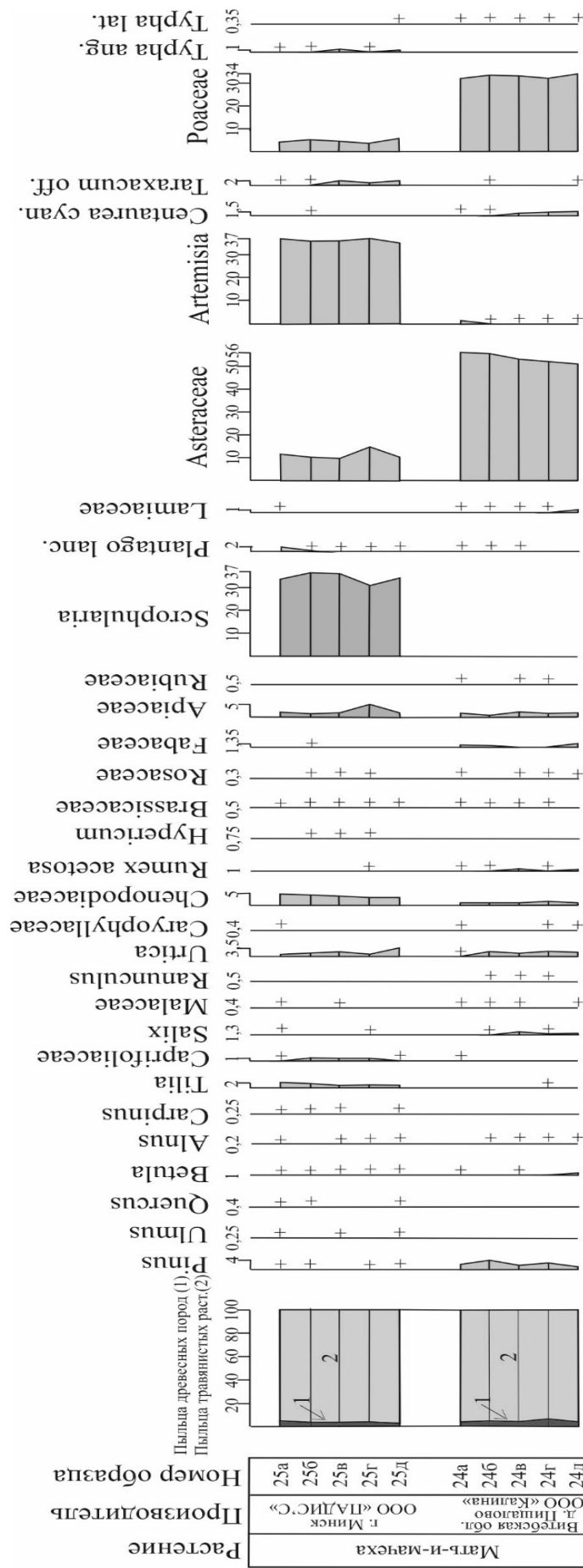


Рис. Пропцентное содержание пыльцы важнейших таксонов растений, содержащейся в измельченном сырье «мать-и-мачехи листья» (*Tussilaginis farfarae folia*), поставляемом в аптеки Республики Беларусь различными производителями

Fig. The percentage of pollen of the most important plant taxa contained in shredded coltsfoot crude drug (*Tussilaginis farfarae folia*), supplied to pharmacies of the Republic of Belarus by different manufacturers

Процентное содержание пыльцы других таксонов в обеих партиях очень мало (1 % и менее), имеющиеся различия несущественны:

- пыльца щавеля обыкновенного (*Rumex acetosa*) в образцах партии 1 присутствует постоянно и составляет 0,2–1 %, а в партии 2 представлена лишь одним пыльцевым зерном;
- пыльца бобовых (*Fabaceae gen.*) в образцах партии 1 составляет 0,2–1,35 %, а в партии 2 она представлена лишь одним пыльцевым зерном;
- пыльца яснотковых (*Lamiaceae gen.*) в партии 1 присутствует в каждом образце (0,2–1 %), а в партии 2 представлена лишь 1 пыльцевым зерном;
- пыльца мареновых (*Rubiaceae gen.*) в партии 1 отмечена в 3 образцах из 5 (0,2–0,5 %), но отсутствует в образцах партии 2;
- пыльца зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*) отсутствует в партии 1, но представлена в 3 образцах партии 2;
- пыльца рогоза узколистного (*Typha angustifolia*) отсутствует в образцах партии 1, но регулярно отмечается в партии 2 (0,12–1 %);
- пыльца рогоза широколистного (*Typha latifolia*) в партии 1 присутствует в каждом образце (0,2–0,35 %), но отмечена лишь в 1 образце партии 2.

В образцах обеих партий присутствует пыльца других таксонов, однако представлена она лишь единично.

Заключение

Выполненное сравнение свидетельствует, что изученные серии образцов каждого отдельного вида травянистых растений, взятые из партий от разных производителей, имеют существенные отличия по целому комплексу показателей, позволяющие доказать принадлежность исследуемых образцов к партиям от различных производителей. Следовательно, можно констатировать факт того, что каждой ботанико-географической зоне свойственны определенные спорово-пыльцевые спектры, позволяющие провести дифференциацию образцов.

Вывод о принадлежности представленных на исследование измельченных и высушенных растений к различным растительным массам формулируется на основе совокупности следующих качественных и количественных признаков:

- 1) наличие различных основных таксонов, создающих «фон» (если таковые имелись в сравниваемых объектах (образцах);
- 2) различное процентное соотношение пыльцы основного таксона, создающего «фон» (если таковой имелся в сравниваемых объектах) и суммы пыльцы прочих таксонов (при первоначальном подсчете);
- 3) различные доминирующие (3 % и более) таксоны в каждой группе;
- 4) заметные различия в процентном содержании пыльцы и спор доминирующих (3 % и более в составе спектров) таксонов среди пыльцы древесных пород, травянистых растений и спор, подсчитанном от общей суммы прочих таксонов после дополнительного подсчета, если имелся основной «фоновый» таксон, либо от общей суммы пыльцевых зерен, подсчитанных в препарате, если «фоновый» таксон отсутствовал;
- 5) различия в процентном соотношении трех основных групп (пыльцы древесных пород, травянистых растений и спор) в общем составе спектров, подсчитанном от общей суммы прочих таксонов после дополнительного подсчета, если имелся основной «фоновый» таксон, либо от общей суммы пыльцевых зерен, подсчитанных в препарате, если «фоновый» таксон отсутствовал;
- 6) различия таксономического состава пыльцы древесных пород, травянистых растений, спор после дополнительного подсчета пыльцы и спор, если имелся «фоновый» таксон, отмеченный в количестве менее 3 %. Таксоны, отмеченные в единичном количестве, не принимаются во внимание, поскольку их присутствие может быть случайным;
- 7) различное число определенных таксонов (после дополнительного подсчета пыльцы и спор, если имелся «фоновый» таксон) в сравниваемых объектах, а также значительное число таксонов, присутствующих только в одном из сравниваемых объектов (без учета таксонов, представленных в единичном количестве).

Библиографические ссылки

1. Бобров А. Е., Курянова Л. А., Литвинцева М. В. и др. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры Европейской части СССР. Л., 1983.
2. Дзюба О. Ф. Атлас пыльцевых зерен (неацетолизированных и ацетолизированных), наиболее часто встречающихся в воздушном бассейне Восточной Европы. М., 2005.

3. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Палинологическая терминология покрытосеменных растений. Л., 1967.
4. Kujau A. Reconstructing Valanginian (Early Cretaceous) mid-latitude vegetation and climate dynamics based on spore–pollen assemblages // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2013. T. 197. C. 50–69.
5. Ukraintseva V. V., Kultin N. B. Pollen Analysis and Environment // *Global Journal of Botanical Science*. 2015. T. 3. C. 17–24.
6. Yang S. Pollen–spore distribution in the surface sediments of the western Bohai Sea, China // *Quaternary International*. 2016. T. 392. C. 213–223.
7. Тулицын С. С. Рецентные спорово-пыльцевые спектры в различных растительных сообществах на юге Тюменской области // АГРОЭКОИНФО. 2015. №. 5. С. 7.
8. Сладков А. Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. М., 1967.
9. Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. 4th edit. Chichester, 1989.

References

1. Bobrov A. E., Kuprianova L. A., Litvintseva M. V., et al. [Spores of fern-like and pollen of gymnosperms and monocotyledonous flora of the USSR European part]. Leningrad, 1983 (in Russ.).
2. Dzuba O. F. [Atlas of pollen grains (non-acetolized and acetolized), most common in the air basin of Eastern Europe]. Moscow, 2005 (in Russ.).
3. Kuprianova L. A., Aleshina L. A. [Palynological terminology of angiosperms]. Leningrad, 1967 (in Russ.).
4. Kujau A. Reconstructing Valanginian (Early Cretaceous) mid-latitude vegetation and climate dynamics based on spore–pollen assemblages. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2013. Vol. 197. P. 50–69.
5. Ukraintseva, V. V., Kultin N. B. Pollen Analysis and Environment. *Global J. of Botanical Science*. 2015. Vol. 3. P. 17–24.
6. Yang S. Pollen–spore distribution in the surface sediments of the western Bohai Sea, China. *Quaternary International*. 2016. Vol. 392. P. 213–223.
7. Tupitsyn S. S. [Spore-pollen spectra in various plant communities in the south of the Tyumen region]. *AGROECOINFO*. 2015. No. 5. P. 7 (in Russ.).
8. Sladkov A. N. [Introduction to spore-pollen analysis]. Moscow, 1967 (in Russ.).
9. Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. 4th edit. Chichester, 1989.

Статья поступила в редколлегию 02.02.2018
Received by editorial board 02.02.2018

УДК 574.524;574.55;57.087.1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПИГМЕНТНЫЕ ИНДЕКСЫ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БЕЛАРУСИ

О. С. СМОЛЬСКАЯ¹⁾, А. А. ЖУКОВА¹⁾

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

В работе приведены результаты исследования спектров поглощения пигментов фитопланктона в разнотипных водных объектах (крупная река, малые реки и пруды рыбоводческого хозяйства). Оценены различные пигментные индексы: E_{450}/E_{480} , E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{664} , E_{480}/E_{665} , E_{664}/E_{720} , E_{430}/E_{720} , E_{412}/E_{720} , E_{530}/E_{720} , E_{430}/E_{530} , E_{664}/E_{530} и E_{412}/E_{664} , которые характеризуют качество воды и физиологическое состояние фитопланктона. Измерение оптической плотности экстракта проводили в диапазоне 350 нм – 800 нм с шагом 1 нм, в качестве растворителя использовали 90 % ацетон. Показано, что проба воды подходит для расчета пигментных индексов и содержания хлорофиллов, если спектр имеет четко выраженные максимумы поглощения, расположенные в красной и синей областях спектра около 663–665 нм и 430 нм. Установлено, что нет статистически значимой разницы между светопоглощением на длинах волн 720 нм и 750 нм, что позволяет прописывать более короткий участок спектра без потери значимой информации.

Ключевые слова: пигментные индексы; хлорофилл; феопигменты; фотосинтез; спектр поглощения; длина волны; водные объекты.

SPECTRAL PIGMENT INDICES OF PHYTOPLANKTON IN DIFFERENT WATER OBJECTS OF BELARUS

O. S. SMOLSKAYA^a, H. A. ZHUKAVA^a

^aBelarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Belarus

Corresponding author: sylimova_1991@mail.ru

The paper presents the results of studying the absorption spectra of phytoplankton pigments in various types of objects, such as the large river, small rivers and fish farm ponds). Different pigment indices E_{450}/E_{480} , E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{664} , E_{480}/E_{665} , E_{664}/E_{720} , E_{430}/E_{720} , E_{412}/E_{720} , E_{530}/E_{720} , E_{430}/E_{530} , E_{664}/E_{530} , E_{412}/E_{664} are estimated that characterize the water quality and physiological state of phytoplankton. The optical density of the extract was measured in the range of 350 nm to 800 nm in 1 nm steps, 90 % acetone was used as the solvent. It is shown that the water sample is suitable for the calculation of pigment indices and chlorophyll content if the spectrum has clearly expressed absorption maxima located in the red and blue regions of the spectrum at about 663–665 nm and 430 nm. It was found that there is no statistically significant difference between light absorption at 720 nm and 750 nm, which allows a shorter portion of the spectrum to be recorded without loss of relevant information.

Key words: pigment indices, chlorophyll, photo pigments, photosynthesis, absorption spectrum, wavelength, water objects.

Образец цитирования:

Смольская О. С., Жукова А. А. Спектральные пигментные индексы фитопланктона в разнотипных водных объектах Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 1. С. 114–123.

For citation:

Smolskaya O. S., Zhukava H. A. Spectral pigment indices of phytoplankton in different water objects of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 1. P. 114–123 (in Russ.).

Авторы:

Ольга Сергеевна Смольская – ассистент кафедры зоологии; аспирант кафедры общей экологии и методики преподавания биологии.

Анна Анатольевна Жукова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры общей экологии и методики преподавания биологии.

Authors:

Volha S. Smolskaya, assistant of the department of zoology, biology faculty; graduate student of the department of general ecology and methods of biology teaching.

sylimova_1991@mail.ru

Hanna A. Zhukava, PhD (biology), associate professor; associate professor of the department of general ecology and methods of biology teaching.

anna_eco@tut.by

Введение

Важное значение в функционировании водоемов различного типа принадлежит фитопланктону, который в процессе фотосинтеза создает органические вещества, составляющие энергетическую основу метаболических процессов в пресноводных экосистемах. Фитопланктон, в сравнении с другими автотрофными сообществами, дает наиболее быстрый отклик на изменение среды обитания, именно поэтому среди факторов формирования качества водной среды зачастую центральное место принадлежит фитопланктону как ключевому элементу первичного звена трофической цепи [1].

На протяжении последних лет во многих водных объектах можно отметить ухудшение качества воды и снижение продуктивности промысловых видов гидробионтов. Недостаточная изученность структурно-функциональной организации водных экосистем приводит к тому, что не всегда возможно выявить причины и механизмы изменений. Для оценки продуктивности водных объектов используют интегральные показатели, к которым среди прочих относят хлорофилл и другие растительные пигменты. Растительные пигменты – показатели структуры растительных сообществ. Их можно применять как маркеры физиологического состояния растительных организмов и функционирования экосистем в целом. Однако их пространственно-временное распределение в различных компонентах экосистемы изучено недостаточно [2; 3].

Для гидробиологических исследований остается актуальным поиск быстрых и информативных показателей оценки экологического состояния водных объектов. Одним из ключевых элементов такой оценки является содержание хлорофилла. Этот подход положен в основу шкал, разработанных для оценки трофического статуса водоемов и качества воды. Дополнить информацию о состоянии планктонных продуцентов также могут пигментные характеристики фитопланктона [3].

Хлорофилл *a* является основным пигментом цианобактерий и одноклеточных водорослей, которые составляют основу фитопланктона. Из нескольких десятков пигментов, содержащихся в фотосинтетическом аппарате водорослей, хлорофиллу *a* отведена важнейшая роль в процессе фотосинтеза. Содержание хлорофилла *a* считается универсальным эколого-физиологическим показателем. Информация о концентрации хлорофилла *a* и ее изменчивости в водном объекте служит критерием при оценке запасов биомассы фитопланктона и его продукции, а также индикатором загрязнения вод. Соотношение между концентрацией хлорофилла *a* и продуктами его превращений, а также другими пигментами (хлорофилл *b*, хлорофилл *c1 + c2*, каротиноиды) характеризуют физиологическое состояние водорослей [4].

Изменение пигментных характеристик сопряжено как с уровнем трофии и обилием, так и со структурой фитопланктона. Она происходит взаимосвязано и сохраняет свою направленность в ходе сезонной и многолетней сукцессии сообщества, чутко реагирует на условия внешней среды и соответствует особенностям экологического состояния водоема [5].

В последнее время предпринимаются попытки по характеру спектра поглощения света пигментами определять некоторые важные структурные показатели фитопланктона. В частности, в коротковолновой области спектра поглощения установлено отличие цианопрокариот (синезеленых водорослей) от других групп, и на этой основе разработан способ оценки качества воды по пигментному индексу E_{450}/E_{480} [3].

Для оценки содержания каротиноидов в водных сообществах также может быть использован индекс E_{480}/E_{665} [3], однако он применялся лишь для нескольких водных объектов и не всегда показывал наличие связи со структурными параметрами сообщества. Для более корректной оценки содержания каротиноидов в водных сообществах недавно был предложен скорректированный индекс $E_{480}/1.7E_{665k}$, учитывающий долю феопигментов в суммарном светопоглощении, однако в настоящее время апробация этого индекса также проведена лишь в единичных работах российских авторов [3; 6]. Определение спектра поглощения пигментов и последующий расчет индексов в разнотипных водных объектах Беларуси (большие и малые реки, озера, пруды) ранее не проводили [7].

Следует отметить, что комплексные исследования структуры фитопланктона и спектральных характеристик фотосинтетических пигментов в литературе крайне немногочисленны [8]. Также в мировой практике невыясненным остается вопрос о пороговой чувствительности спектрального подхода для характеристики структурных показателей фитопланктона и возможностях его использования для водных экосистем разного уровня трофии.

Цель данного исследования – изучение спектральных пигментных индексов для разнотипных водных экосистем Беларуси, обобщение данных, собранных в течение вегетационного периода 2012 и 2015 гг. в водоемах различного трофического статуса.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на водоемах различного трофического уровня и в разные периоды вегетационного сезона. Были обследованы крупная р. Вилия (длина 498 км, из них в Беларуси 264 км) и малые реки (Уша, Смердия, Цна), длиной менее 100 км, расположенные на северо-западе Беларуси и относящиеся к бассейну Балтийского моря [9]. Исследования также проводили на прудах рыбоводческого хозяйства «Вилейка» и связанных с ними реках. Пруды рыбхоза «Вилейка» заполняются весной водой из р. Смердия (правый приток р. Вилия) или, при недостатке воды в реке, водой из р. Вилия. Сброс воды осуществляется в р. Смердия, русло которой практически на всем протяжении канализовано, и далее в р. Вилия. Пробы отбирали на 10 прудах рыбхоза: пруды 21–28 площадью 0,24 га, пруд 3–5 площадью 0,5 га и пруд 3–6 площадью 0,6 га.

Воду отбирали в чистые сосуды с глубины 0,25–0,5 м от поверхности воды и не менее 10–15 см от дна, не допуская взмучивания грунта. Перед взятием проб сосуд два-три раза ополаскивали водой из исследуемого водоема. В 2012 г. пробы воды отбирали в осенний период в реках (собрано 13 проб), отбор проб в 2015 г. проводили в весенне-летний период на прудах рыбоводческого хозяйства «Вилейка» и связанных с ними реках (отобрано 19 проб). В ходе работы в собранных пробах воды были определены спектры поглощения пигментов в ацетоновых экстрактах и рассчитаны пигментные индексы.

После отбора пробы и ее доставки в лабораторию незамедлительно приступали к обработке. Взвешенные в воде вещества осаждали на ядерные фильтры с диаметром пор 1 мкм под вакуумом (до –0,4 атм). Затем фильтры переносили в пробирки, залив небольшим слоем 90 %-ного ацетона для последующего определения содержания хлорофилла и считывания спектров поглощения пигментов. Для более полного экстрагирования пигментов пробы на фильтре выдерживали в темном прохладном месте 8–24 ч, а затем тщательно растирали [10]. Полученный экстракт очищали, профильтровывая через мембранный фильтр, диаметр пор которого 0,2 мкм. Очищенный экстракт переносили в стеклянные мерные пробирки, которые либо обрабатывали сразу, либо в течение нескольких часов до проведения анализа хранили закрытыми притертыми пробками в прохладном защищенном от света месте.

Измерение оптической плотности (или пропускания) экстракта на различных длинах волн проводили в диапазоне 350–800 нм с шагом 1 нм в исходных ацетоновых экстрактах и в пробах, подкисленных несколькими каплями 0,01 N соляной кислоты (где хлорофиллы переходят в феопигменты), при этом использовали кювету, длина которой 2 см. Работу проводили на спектрофотометре *Cary 50* [5; 11].

Сканирование спектров поглощения экстрактов проводили с помощью приложения *Scan* на интервале длин волн 300–800 нм с последующим сравнением полученных участков спектров. Рассчитанные значения индексов использовали для анализа возможности применения спектрального подхода в исследованных водных объектах.

При статистической обработке данных использовали программные пакеты *Microsoft Excel* и *Statistica 8.0*.

Результаты исследования и их обсуждение

Для экстракции фотосинтетических пигментов фитопланктона (хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов) в методиках используют растворители различной химической природы: 90 и 80 %-ный ацетон, 100 %-ный этанол или метанол, диэтиловый эфир, диметилсульфоксид. Выбор растворителя зависит от поставленной задачи и ограничений по применению (метанол не рекомендуется применять при наличии в экстракте феофетиннов). Однако мы не всегда можем знать точный состав фотосинтетических пигментов, так как отбор проб происходит с различных водоемов и в различное время года, и точную химическую природу биомолекул, что также ограничивает выбор растворителя. Наиболее часто для извлечения каротиноидов применяется ацетон, хотя лучшим экстрагентом считается метанол, который редко используется ввиду его высокой токсичности. Наилучшим экстрагентом для всех хлорофиллов является диэтиловый эфир. Исходя из цели нашей работы, мы в своем исследовании используем 90 %-ный ацетон, принятый в качестве растворителя во многих методиках [12; 13].

Согласно стандартной методике спектрофотометрического определения хлорофилла, отсчеты оптических плотностей для расчета концентрации хлорофиллов берутся на четырех длинах волн – 664, 647, 630 и 750 нм [11]. Фотометрирование проводится дважды: до и после подкисления экстракта несколькими каплями 0,1 N раствора соляной кислоты в ацетоне. Оптические свойства хлорофилла в ацетоновом экстракте изменяются по сравнению с его нативной формой. Эти изменения связаны с нарушением целостности хлорофилл-белково-липоидного комплекса тилакоидов. Отделенный от хлоропласта и протеина мембран при экстрагировании хлорофилл *a* характеризуется двумя максимумами поглощения, расположенными в красной и синей областях спектра около 663–665 и 430 нм. У дополнительных хлорофиллов пики несколько смещены в адсорбционном окне: у хлорофилла *b*

они соответствуют длинам волн 643 и 435 нм, у хлорофилла *c* – 630 нм. Одновременно методикой допускается определять концентрации и других пигментов: феофитина *a*, суммарную концентрацию каротиноидов. С этой целью необходимо до подкисления экстракта дополнительно взять отсчеты еще на двух длинах волн – 430 нм и 480 нм [4].

Каротиноиды – вспомогательные фотосинтетические пигменты – поглощают коротковолновые лучи спектра (синие, фиолетовые и ультрафиолетовые) и передают поглощенную энергию хлорофиллу. У некоторых растений (синезеленые и красные водоросли) имеются дополнительные пигменты иной химической природы, чем каротиноиды, но также поглощающие свет и передающие поглощенную энергию хлорофиллу. Это так называемые фикобилины (синий фикоциан и красный фикоэритрин).

Фотосинтетические пигменты микроорганизмов характеризуются по спектрам поглощения света, при этом состав фотосинтетических пигментов зависит от систематической принадлежности водорослей. Выделяют четыре типа хлорофилл-белковых комплексов [2], содержащих соответственно хлорофилл-*a*, хлорофилл-*a/c*, хлорофилл-*a/b*, хлорофилл-*a/d*, подразделяя их на шесть групп в зависимости от присутствия фукоксантина или фикобилинов (табл. 1).

Таблица 1

Состав пигментов у основных групп водорослей [2]

Table 1

The pigment composition of the main algae groups [2]

Отделы водорослей	Состав пигментов
Зеленые, харовые, эвгленовые	Хлорофилл- <i>a/b</i>
Желтозеленые, радиодитовые	Хлорофилл- <i>a/c</i>
Диатомовые, динофитовые, золотистые, бурые	Хлорофилл- <i>a/c</i> +фукоксантин
Криптофитовые	Хлорофилл- <i>a/c</i> +фикобилины
Красные	Хлорофилл- <i>a/d</i> +фикобилины
Синезеленые	Хлорофилл- <i>a</i> +фикобилины

В экстракте из осажденной на фильтр взвеси природной воды находятся пигменты, имеющие перекрывающиеся спектры поглощения света, поэтому оценка их концентраций усложняется. Так, для расчета содержания хлорофиллов *a*, *b* и *c* решается система трех уравнений с тремя неизвестными. При этом учитывается поглощение света каждым пигментом на длинах волн (664, 647, 630 нм), соответствующих их спектральным максимумам. Известно несколько вариантов таких уравнений, отличающихся использованием различных удельных коэффициентов экстинкции. В гидробиологических исследованиях обычно используются уравнения Джеффри и Хамфри, основанные на уточненных применительно к хлорофиллам водорослей значениях этих коэффициентов [14].

Отметим, что в первую очередь при приготовлении экстракта пигментов необходимо убедиться в отсутствии неспецифического поглощения света, возникающего за счет взвесей и растворимых окрашенных соединений, среди которых могут быть и дериваты некоторых пигментов, как, например, фукоксантина [14]. Это поглощение контролируется измерением оптической плотности в крайней длинноволновой области видимого спектра, обычно на длине волны 750 нм. При вычислении концентраций пигментов рекомендуется из показаний прибора на всех длинах волн вычитать единую поправку на неспецифическое поглощение, равную оптической плотности, измеренной на длине волны 750 нм. Одной из причин этого может быть нарушение пропорциональности между поглощением света и концентрацией пигментов при значительной мутности раствора. Неспецифическое поглощение за счет взвешенных частиц можно уменьшить путем отстаивания экстракта в холодильнике, повторным центрифугированием, добавлением нескольких капель чистого растворителя (аcetона).

Соблюдая все вышеуказанные условия получения экстрактов, проведено их последующее сканирование с помощью спектрофотометра Cary 50. В результате были измерены спектры поглощения, типичный вид которых показан на рис. 1. Таким образом, мы можем наблюдать четкие максимумы спектров поглощения в красной и синей области. Спектры прописываются разборчиво, никаких выбросов, а соответственно, и мешающих примесей мы не наблюдаем.

Однако такая ситуация бывает не всегда, что дает нам основание «браковать» пробу, непригодную для детального анализа спектра (рис. 2). Это может происходить, когда методика при отборе пробы была нарушена или когда проба очень бледная, с низким содержанием в ней пигментов. Следовательно,

мы считаем важным прописывать спектры поглощения проб еще до определения содержания хлорофиллов и феопигментов, а также расчета пигментных индексов, что поможет нам в дальнейшем быть уверенными в результате.

е

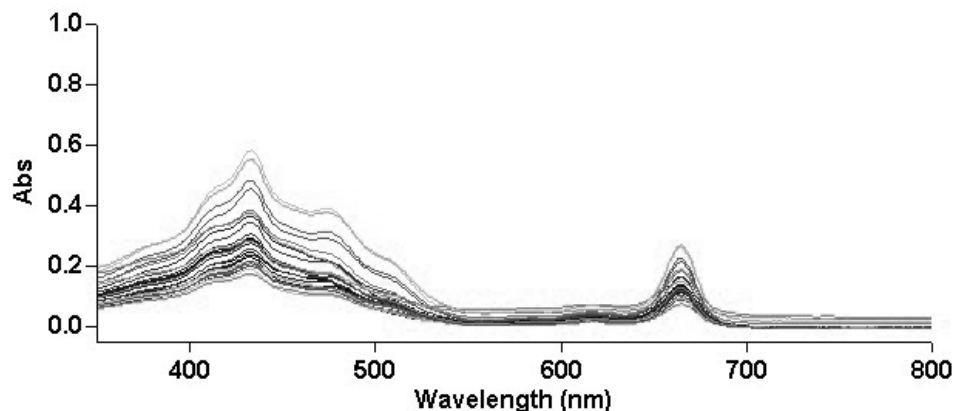


Рис. 1. Спектры поглощения пигментов планктона, измеренные в диапазоне длин волн 350–800 нм

Fig. 1. The absorption spectra of plankton pigments measured in the wavelength range 350–800 nm

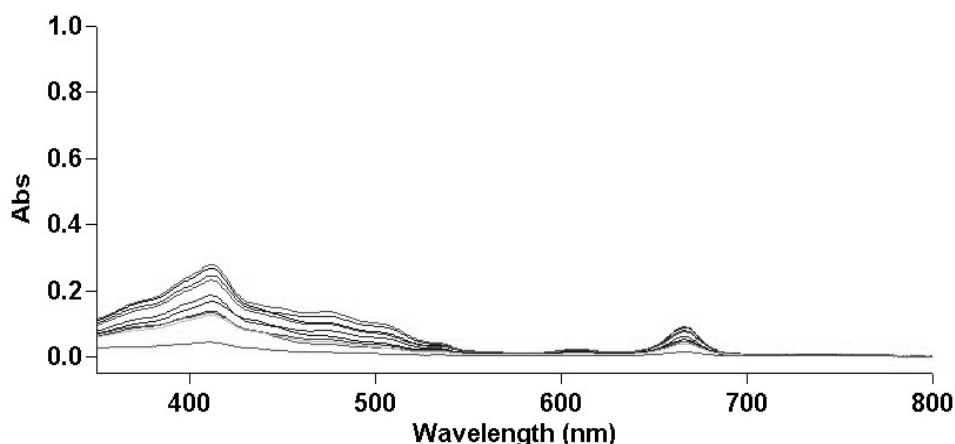


Рис. 2. Спектры поглощения плохо прописанных спектров поглощения проб планктона в диапазоне длин волн 350–800 нм

Fig. 2. The absorption spectra of poorly recorded absorption spectra of plankton samples in the wavelength range 350–800 nm

Еще одно уточнение метода расчета спектральных индексов, которое мы хотим предложить: нет необходимости снимать спектр до 750 нм (что описано выше), к 700 нм линия спектра выходит на плато и в целях экономии времени, затрачиваемого на обработку одной пробы, достаточно проводить измерения до 720 нм. Этот вывод апробирован результатами анализа многолетних исследований, когда не наблюдалось различий в спектральных данных на длинах волн 750 и 720 нм, относящихся к различным водоемам и собранных в разные временные промежутки. При сканировании спектра поглощения изначально мы получаем большой массив данных, причем для каждой пробы в трех повторностях. Для дальнейшего расчета индексов эти данные подвергаются «ручной» обработке, хотя этот процесс достаточно трудоемкий, поскольку отнимает много времени. Обрезая исходный спектр до длины 720 нм, мы уменьшим и время обработки, и количество исходных значений в спектральной базе данных. Именно с этой целью проведен нами статистический анализ данных разных проб, чтобы подтвердить предположение об отсутствии попарных различий в значениях спектра на длинах волн 720 и 750 нм для исследованных проб.

В первую очередь мы сформировали 2 парных массива данных по светопоглощению на длинах волн 720 нм и 750 нм в пробах и сравнили их. Важным условием выбора метода анализа данных является проверка нормальности распределения анализируемых признаков, так как применение параметрических методов к данным, не подчиняющимся закону нормального распределения, может привести к выводам, не соответствующим действительности. Во избежание указанной ошибки, вначале нами выполнена проверка на нормальность распределения светопоглощения в двух сравниваемых

массивах данных в программе *Statistica 8.0*. При проверке нормальности распределения анализируемых данных использовали W-тест Шапиро–Уилка (*Shapiro-Wilk's W test*), проверяющий нулевую гипотезу об отсутствии различий между наблюдаемым распределением признака и теоретическим ожидаемым его нормальным распределением. В результате выполнения теста получаем значение вероятности справедливости нулевой гипотезы (P). При $P > 0,05$ можно заключить, что анализируемое распределение не отличается от нормального [15].

В случае с полученными нами массивами данных как с длиной волны 750 нм, так и с длиной волны 720 нм, тест Шапиро–Уилка дает значение $P < 0,00001$ (рис. 3 а, б), что указывает на асимметричность распределения данных. Основная часть данных была близка к нулевым значениям, что указывает на очень низкое светопоглощение в этой области спектра и отсутствие примесей, мешающих процессу снятия спектра фотосинтетических пигментов.

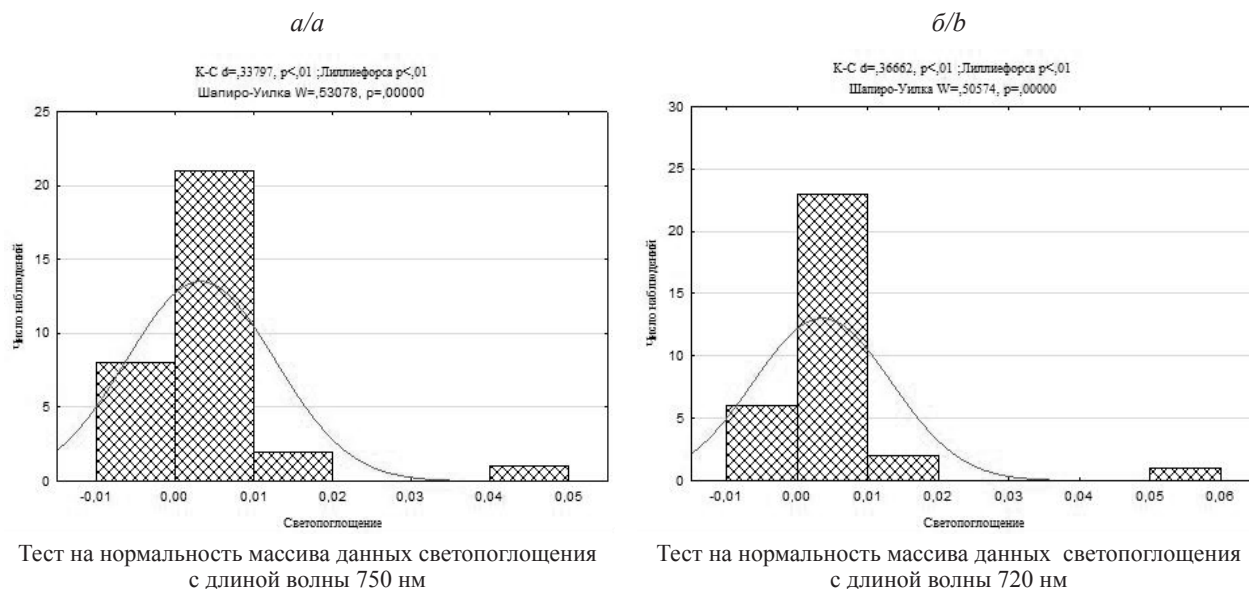


Рис. 3. Результат проверки нормальности распределения данных светопоглощения на длинах волн 750 и 720 нм, выполненной при помощи модуля *Descriptive Statistics (Statistica 8.0)*

Fig. 3. The result of the verification of the normal distribution of the light absorption data at 750 and 720 nm wavelengths, made using the *Descriptive Statistics module (Statistica 8.0)*

Исходя из полученных результатов проверки на нормальность, мы провели сравнение двух групп значений светопоглощения (при длинах волн 720 и 750 нм) с помощью *U-теста Манна–Уитни (Mann–Whitney Utest)*, который является непараметрическим тестом. Он проверяет гипотезу, согласно которой обе исследованные группы происходят из одной генеральной совокупности и наблюдаемые различия между средними значениями сравниваемых выборок случайны. На рис. 4 представлен результат проведенного теста.

U критерий Манна-Уитни (Таблица по сравнению)										
По перем. Длина волны										
Отмеченные критерии значимы на уровне $p < ,05000$										
	Сум. ранг Группа 1	Сум. ранг Группа 2	U	Z	p-уров.	Z скорр.	p-уров.	N Группа 1	N Группа 2	2-х стор точное p
светопоглощение	1020,000	1060,000	492,0000	-0,261830	0,793453	-0,263585	0,792100	32	32	0,794852

Рис. 4. Результаты выполнения теста Манна–Уитни для двух сравниваемых массивов

Fig. 4. The results of the Mann–Whitney test for two compared arrays

Тест указывает на очень высокую вероятность справедливости исходной гипотезы об отсутствии различий ($P = 0,79$), и мы можем сделать вывод об отсутствии статистически значимой разницы между массивами с длинами волн 750 и 720 нм. Следовательно, наше предположение подтвердилось и можно снимать более короткий участок спектра поглощения экстракта пигментов – до 720 нм.

Нами продолжен анализ спектров и проведена оценка поглощения света на ключевых участках исследованного диапазона длин волн в ацетоновых экстрактах. При обработке проб было обнаружено,

что спектры поглощения хлорофилла в ацетоновых экстрактах изменяются в зависимости от содержания феопигментов в пробе и видового состава фитопланктона, более выраженные различия фиксируются в синей области спектра. В качестве примера на рис. 5 приведены спектры поглощения проб с разным видовым составом фитопланктона. Отношения оптических плотностей экстрактов на разных длинах волн спектра поглощения, косвенно отражающие соотношения концентраций пигментов, по данным литературы, могут служить показателями физиологического состояния, структуры и таксономического разнообразия фитопланктонного сообщества.

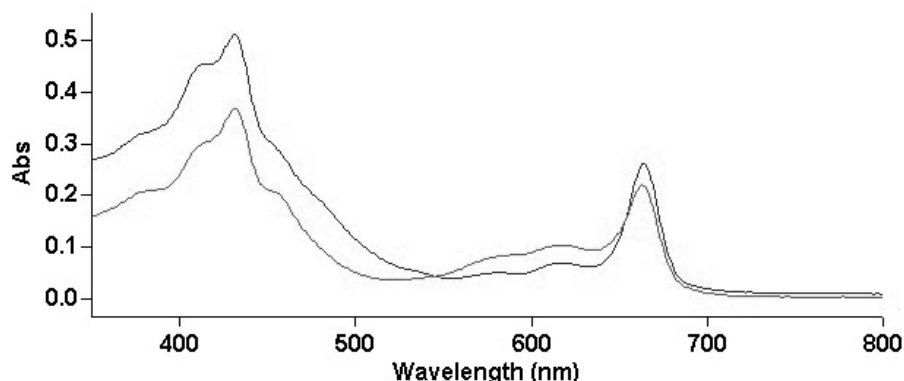


Рис. 5. Спектры поглощения проб с разным видовым составом фитопланктона

Fig. 5. The spectra of absorption of samples with different species composition of phytoplankton

Исходя из полученных данных и анализа литературных источников [3; 16; 17], перспективными для получения информации о состоянии фитопланктона определены пигментные индексы E_{480}/E_{664} , E_{450}/E_{480} , E_{430}/E_{664} . Данные пигментные индексы рассчитываются исходя из оптических плотностей ацетонового экстракта пигментов в областях длинно- и коротковолнового максимумов поглощения света хлорофиллом-*a* (664 и 430 нм) и коротковолновых максимумов для каротиноидов (430, 450, 480 нм).

Проанализировав литературные источники, можно отметить, что пигментные индексы достаточно редко используются как маркеры состояния фитопланктона и качества воды. Мы попытались проанализировать имеющиеся данные и рассчитать пигментные индексы для исследованных нами разных групп водоемов.

К существующим в литературе пигментным индексам мы также предлагаем добавить новые, которые используются с целью контроля чистоты экстракта пигментов и правильности прописывания спектра. Таким образом, предлагаем ввести дополнительные числовые параметры контроля спектра для того, чтобы быть уверенными в правильности и точности расчета индексов и возможности использования их в качестве показателя состояния фитопланктона и водной экосистемы в целом. Данные, полученные по имеющимся в литературе пигментным индексам, представлены в табл. 2, а в табл. 3 отражены предлагаемые нами индексы контроля чистоты экстракта.

Таблица 2

Пигментные индексы фитопланктона для различных водоемов

Table 2

The pigment indices of phytoplankton for various water objects

Водный объект	Дата	Индексы			
		E_{450}/E_{480}	E_{480}/E_{664}	E_{430}/E_{664}	E_{480}/E_{665}
Вилейка, пруд 22	02.04.2015	2,212	0,754	2,348	0,765
Вилейка, пруд 23	02.04.2015	1,917	0,738	2,123	0,738
Вилейка, пруд 27	02.04.2015	1,727	0,873	2,143	0,873
Вилейка, пруд 25	02.04.2015	1,657	0,875	2,013	0,875
Вилейка, пруд 26	02.04.2015	1,778	0,857	2,127	0,857

Окончание табл. 2

Ending table 2

Водный объект	Дата	Индексы			
		E_{450}/E_{480}	E_{480}/E_{664}	E_{430}/E_{664}	E_{480}/E_{665}
Вилейка, пруд 21	13.05.2015	1,561	0,868	1,895	0,868
Вилейка, пруд 22	13.05.2015	1,594	0,894	1,982	0,894
Вилейка, пруд 23	13.05.2015	1,590	0,891	2,015	0,891
Вилейка, пруд 24	13.05.2015	1,605	0,899	2,000	0,899
Вилейка, пруд 25	13.05.2015	1,459	1,088	2,118	1,088
Вилейка, пруд 26	13.05.2015	1,544	0,968	2,032	0,978
Вилейка, пруд 27	13.05.2015	1,580	0,945	2,082	0,945
Вилейка, пруд 28	13.05.2015	1,677	0,805	1,987	0,805
Вилейка, пруд 3-5	13.05.2015	1,530	0,910	1,975	0,915
Вилейка, пруд 3-6	13.05.2015	1,654	0,773	1,883	0,776
Вилейка, пруд 21	03.06.2015	1,653	0,824	1,945	0,824
Вилейка, пруд 22	03.06.2015	1,510	0,944	1,981	0,927
Вилейка, пруд 23	03.06.2015	1,528	1,029	2,171	1,029
Вилейка, пруд 24	03.06.2015	1,295	1,070	1,842	1,052
р. Смердия, до р/х Вилейка	12.11.2012	1,712	0,793	2,031	0,818
р. Смердия, сброс р-за «Вилейка»	12.11.2012	1,363	1,157	1,982	1,158
р. Смердия, 500 м ниже сброса р-за «Вилейка»	12.11.2012	1,544	1,132	2,354	1,141
р. Смердия, перед впадением в р. Виля	12.11.2012	1,544	1,102	2,283	1,097
р. Виля, насосная станция	12.11.2012	1,446	1,044	2,215	1,026
р. Виля, после Смердии	12.11.2012	1,454	0,991	2,172	1,000
р. Цна, водопадающий канал	12.11.2012	1,173	1,171	2,332	0,750
р. Уша, основной сброс	12.11.2012	1,616	0,964	2,182	0,952
р. Уша, до сброса	12.11.2012	1,891	0,932	2,564	0,957
р. Уша, 1 км после сброса	12.11.2012	2,142	0,768	2,671	0,774
р. Виля, 1 км после р. Уша	12.11.2012	1,842	0,733	2,180	0,730
р. Виля, за г. Сморгонь	12.11.2012	2,033	0,677	2,300	0,750
р. Виля, у д. Стешицы	12.11.2012	1,379	0,972	1,700	0,968

Таблица 3

Индексы контроля чистоты экстракта

Table 3

The pigment indexes of purity control of extract

Водный объект	Индексы контроля чистоты экстракта						
	E_{664}/E_{720}	E_{430}/E_{720}	E_{412}/E_{720}	E_{530}/E_{720}	E_{430}/E_{530}	E_{664}/E_{530}	E_{412}/E_{664}
Вилейка, пруд 22	69,000	162,000	160,000	11,000	14,727	6,273	2,319
Вилейка, пруд 23	65,000	138,000	142,000	11,000	12,545	5,909	2,185
Вилейка, пруд 27	63,000	135,000	146,000	11,000	12,273	5,727	2,317
Вилейка, пруд 25	10,000	20,125	21,500	2,750	7,318	3,636	2,150
Вилейка, пруд 26	63,000	134,000	150,000	11,000	12,182	5,727	2,381
Вилейка, пруд 21	76,000	144,000	165,000	16,000	9,000	4,750	2,171
Вилейка, пруд 22	14,125	28,000	31,500	3,375	8,296	4,185	2,230

Окончание табл. 3

Ending table 3

Водный объект	Индексы контроля чистоты экстракта						
	E_{664}/E_{720}	E_{430}/E_{720}	E_{412}/E_{720}	E_{530}/E_{720}	E_{430}/E_{530}	E_{664}/E_{530}	E_{412}/E_{664}
Вилейка, пруд 23	45,667	92,000	100,333	9,000	10,222	5,074	2,197
Вилейка, пруд 24	138,000	276,000	306,000	27,000	10,222	5,111	2,217
Вилейка, пруд 25	68,000	144,000	153,000	15,000	9,600	4,533	2,250
Вилейка, пруд 26	93,000	189,000	205,000	18,000	10,500	5,167	2,204
Вилейка, пруд 27	36,500	76,000	80,500	8,000	9,500	4,563	2,205
Вилейка, пруд 28	77,000	153,000	167,000	13,000	11,769	5,923	2,169
Вилейка, пруд 3-5	201,000	397,000	414,000	35,000	11,343	5,743	2,060
Вилейка, пруд 3-6	123,500	232,500	237,000	18,500	12,568	6,676	1,919
Вилейка, пруд 21	91,000	177,000	168,000	15,000	11,800	6,067	1,846
Вилейка, пруд 22	54,000	107,000	109,000	10,000	10,700	5,400	2,019
Вилейка, пруд 23	17,500	38,000	37,000	4,500	8,444	3,889	2,114
Вилейка, пруд 24	3,563	6,563	5,938	1,625	4,038	2,192	1,667
р. Смердия, до р/х Вилейка	11,250	21,750	22,000	4,250	5,118	2,647	1,956
р. Смердия, сброс р-за «Вилейка»	2,762	5,384	5,377	1,490	3,613	1,853	1,947
р. Смердия, 500 м ниже сброса р-за «Вилейка»	59,250	138,750	138,000	10,500	13,214	5,643	2,329
р. Смердия, перед впадением в р. Вилия	34,800	79,800	77,600	7,600	10,500	4,579	2,230
р. Вилия, насосная станция	8,333	18,667	17,444	3,111	6,000	2,679	2,093
р. Вилия, после Смердии	18,750	40,500	38,000	5,250	7,714	3,571	2,027
р. Цна, водопадающий канал	2,600	1,800	2,000	1,600	1,125	1,375	3,333
р. Уша, основной сброс	70,000	152,000	143,333	8,333	18,240	8,400	2,048
р. Уша, до сброса	48,000	120,000	136,000	11,000	10,909	4,364	2,833
р. Уша, 1 км после сброса	3,300	8,400	7,500	0,600	14,000	5,500	2,273
р. Вилия, 1 км после р. Уша	5,571	12,000	11,000	0,429	28,000	13,000	1,974
р. Вилия, за г. Сморгонь	3,429	8,143	7,571	0,857	9,500	4,000	2,208
р. Вилия, у д. Стешницы	2,100	3,550	3,450	1,317	2,696	1,595	1,643

Как следует из табл. 2 и 3, мы сравнили 4 имеющихся в литературе индекса [3; 6; 16; 17], а также 7 предложенных нами дополнительных. Так индексы, взятые из литературы – E_{450}/E_{480} , E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{664} , E_{480}/E_{665} – в нашей работе изменялись в пределах от 0,6 до 2,5. Индексы контроля чистоты экстракта E_{664}/E_{720} , E_{430}/E_{720} , E_{412}/E_{720} имеют больший размах значений – от 1 до 260; пигментные индексы E_{530}/E_{720} , E_{430}/E_{530} имеют диапазон от 0,5 до 30, а индексы E_{664}/E_{530} , E_{412}/E_{664} – от 1 до 6. Диапазон изменения дополнительных индексов варьирует в широких пределах, однако выделяются пороговые значения, по которым можно судить о пригодности спектра для расчета индексов, отражающих состояние пигментного состава планктона. Таким образом, для каждого конкретного индекса существует нижний пороговый предел: $E_{412}/E_{664} - 1,5$; $E_{664}/E_{530} - 1,5$; $E_{430}/E_{530} - 2,5$; $E_{530}/E_{720} - 1$; E_{664}/E_{720} , E_{430}/E_{720} , $E_{412}/E_{720} - 5$. Исходя из вышесказанного, мы предлагаем индексы E_{412}/E_{664} , E_{664}/E_{530} , E_{430}/E_{530} рассматривать в качестве информативных, а индексы E_{530}/E_{720} , E_{664}/E_{720} , E_{430}/E_{720} , E_{412}/E_{720} – как вспомогательные.

Необходимо отметить, что индексы могут быть рассчитаны для всех типов водоемов, но есть отличия, что подтверждается нашими данными. Так, увеличение индекса E_{430}/E_{664} свидетельствует об увеличении относительного вклада каротиноидов в светопоглощение и, соответственно, ухудшении физиологического состояния фитопланктона. Предпосылкой для введения индекса E_{412}/E_{664} стал анализ спектров поглощения. Мы обратили внимание на то, что в исследуемых пробах максимальные значения в синей области спектра наблюдаются не на длине волны 430 нм, а линия спектра достигает предела на длине 412 нм. Сравнив эти индексы, можно сделать вывод: индекс E_{412}/E_{664} для прудов рыбоводческого хозяйства «Вилейка» является более высоким, а для рек, наоборот, индекс E_{430}/E_{664} дает большее значение. Соответственно, существует разница в пигментном составе в зависимости от того, какие водные объекты исследуются. Индекс E_{450}/E_{480} , характеризующий долю цианопрокариот в фитопланктоне, во всех исследуемых пробах был выше 1, что свидетельствует о доминантном содержании в пробах диатомовых и зеленых водорослей.

Вспомогательные индексы E_{430}/E_{530} и E_{664}/E_{530} отражают соотношение максимального поглощения в синей и красной области спектра в соответствии с минимальным значением в центральной области спектра. Причем, проанализировав данные, видно, что индекс E_{430}/E_{530} дает в 2 раза большее значение,

чем индекс E_{664}/E_{530} для всех типов водоемов. Индексы E_{664}/E_{720} и E_{430}/E_{720} показывают максимальное поглощение синей и красной области спектра соответственно к минимальному (фоновому) значению в красной области спектра, при этом значение E_{664}/E_{720} также меньше индекса E_{430}/E_{720} , что связано с большей высотой пика поглощения в синей области спектра. Если сравнить между собой индексы E_{430}/E_{720} и E_{412}/E_{720} , то прослеживается аналогичная ситуация, как и с индексами E_{412}/E_{664} , E_{430}/E_{664} , то есть для рыбоводческих прудов значения индекса E_{412}/E_{664} выше, а для рек – выше значения индекса E_{430}/E_{664} . Индекс E_{530}/E_{720} свидетельствует о соотношении минимального значения в синей области спектра к минимальному (фоновому) значению в красной области спектра, пределы изменения этого индекса в нашем исследовании – от 0,4 до 35. Индексы E_{480}/E_{664} и E_{480}/E_{665} дают примерно одинаковые значения для всех исследованных водных объектов – от 0,67 до 1,15.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что все исследуемые индексы информативны и их можно использовать в качестве маркеров состояния фитопланктонного сообщества.

Заключение

В результате проведенной работы были проанализированы спектры поглощения в диапазоне длин волн 350 нм – 800 нм для разнотипных водных объектов, отобранных в разные периоды вегетационного сезона. В ходе работы нами установлено, что нет статистически значимой разницы между значениями светопоглощения на длине волны 720 нм и 750 нм, поэтому можно сократить длину изучаемого отрезка спектра с 750 до 720 нм, что уменьшит объем временных затрат на получение спектра и ускорит анализ данных.

Для расчета пигментных индексов спектр поглощения экстракта следует снимать в диапазоне 400–720 нм (можно 350–720 нм). Далее из анализа следует исключить пробы, у которых пигментный спектр не прописывался, либо был не четким (например, высокое фоновое светопоглощение примесей на длине волны 720 нм). Одним из критериев информативности пигментных индексов мы предлагаем ввести хорошо прописанные спектры пигментов. Для «контроля качества» спектров предлагаем использовать дополнительные индексы (E_{412}/E_{664} , E_{664}/E_{530} , E_{430}/E_{530} , E_{530}/E_{720} , E_{664}/E_{720} , E_{430}/E_{720} , E_{412}/E_{720}), отражающие соотношение поглощения на пиках и спадах пигментного спектра.

Если спектр поглощения экстракта пигментов прописывается четко, то расчет и анализ пигментных индексов может дать важную информацию о составе фитопланктона и его состоянии. Таким образом, при грамотном подходе пигментные индексы могут быть использованы в качестве одного из параметров оценки качества воды для всех типов водоемов вне зависимости от уровня их трофии и состояния фитопланктона.

Библиографические ссылки

1. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960.
2. Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М., 2004.
3. Сигарева Л. Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М., 2012.
4. ГОСТ 17.1.04.02.90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-а. М., 2009.
5. Lorenzen C. J. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations // *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. P. 343–346.
6. Сиделев С. И., Бабаназарова О. В. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера // *J. of Siberian Federal University. Biology.* 2008. Vol. 2, № 1. P.162–177.
7. Смольская О. С. Пигментные индексы, содержание сестона и хлорофилла-а в русловых и зарегулированных участках р. Свислочь в районе г. Минска // Биологическая осень 2017: к Году науки в Беларуси: тез. докл. Междунар. науч. конф. молодых ученых, 9 нояб. 2017 г. Минск, 2017. С. 218–220.
8. Сулимова О. С., Жукова А. А., Адамович Б. В. Оценка связи спектральных характеристик пигментного состава фитопланктона и вклада синезеленых водорослей в его общую биомассу // Сб. тр. V всеукр. науч.-практ. конф. «Біологічні дослідження-2014» молодых ученых и студентов. (Житомир, 4–6 апреля 2014 г.). Житомир, 2014. С. 221–223.
9. Блакітны скарб Беларусі: энцыклапедыя. Мінск, 2007.
10. Сигарева Л. Е. О влиянии характера механического разрушения фитопланктона на степень экстрагирования его пигментов // *Биология внутренних вод: Информ. бюл.* 1974. № 24. С. 8–11.
11. SCOR-UNESCO Working group № 17. Determination of photosynthetic pigments in sea-water // *Monographs on Oceanologic Methodology.* UNESCO, Paris, 1966. P. 9–18.
12. Nayek S., Choudhury Imranul H., Jaishee N., et al. Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents // *Research J. of Chemical Sciences.* 2014. Vol. 4, № 9. P. 63–69.
13. Ritchie R. J. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organism using acetone, methanol, or ethanol solvents // *Photosynthetica.* 2008. Vol. 46, № 1. P. 115–126.
14. Остапеня А. П. Полнота окисления органического вещества водных беспозвоночных методом бихроматного окисления // Докл. АН БССР. 1965. Т.9, № 4. С. 273–276.
15. Мастоцкий, С. Э. Методическое пособие по использованию программы STATISTICA при обработке данных биологических исследований. Минск, 2009.

16. Сigareва Л. Е., Ляшенко О. А. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 4. С. 475–480.
17. Станиславская Е. В. Пигментные характеристики перифитона озерно-речных систем урбанизированных территорий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2 (2). С. 502–506.

References

1. Vinberg G. G. *Pervichnaya produktsiya vodoyemov* [Primary production of reservoirs]. Minsk, 1960 (in Russ.).
2. Mineyeva N. M. *Rastitel'nyye pigmenty v vode volzhskikh vodokhranilishch* [Vegetable pigments in the water of the Volga reservoirs]. Moscow, 2004 (in Russ.).
3. Sigareva L. Ye. *Khlorofill v donnykh otlozheniyakh volzhskikh vodoyemov* [Chlorophyll in bottom sediments of Volga reservoirs]. Moscow, 2012 (in Russ.).
4. GOST 17.1.04.02.90. *Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla-a* [Water. The method of spectrophotometric determination of chlorophyll-a]. Moscow, 2009 (in Russ.).
5. Lorenzen C. J. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. P. 343–346.
6. Sidelev S. I., Babanazarova O. V. *Analiz svyazey pigmentnykh i strukturnykh kharakteristik fitoplanktona vysokoevτροφного озера* [Analysis of pigment and structural characteristics of phytoplankton in a highly eutrophic lake]. *J. of Siberian Federal University. Biology.* 2008. Vol. 2, No. 1. P. 162–177 (in Russ.).
7. Smol'skaya O. S. *Pigmentnyye indeksy, soderzhaniye sestona i khlorofilla-a v ruslovykh i zaregulirovannykh uchastkakh r. Svisloch' v rayone g. Minska* [Pigment indices, content of seston and chlorophyll-a in riverbed and overregulated sections of the Svisloch River in the Minsk region]. *Biologicheskaya osen' 2017: k Godu nauki v Belarusi: tez. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. molodykh uchennykh*, 9 noyab. 2017 g. Minsk, 2017. P. 218–220 (in Russ.).
8. Sulimova O. S., Zhukova A. A., Adamovich B. V. *Otsenka svyazi spektral'nykh kharakteristik pigmentnogo sostava fitoplanktona i vklada sinezelenykh vodorosley v yego obshchuyu biomassu* [Evaluation of the relationship between the spectral characteristics of the phytoplankton pigment composition and the contribution of blue-green algae to its general biomass]. *Sb. tr. V vseukr. nauch.-prakt. konf. «Biologichni doslidzhennya-2014» molodykh uchennykh i studentov.* (Zhitomir, 4–6 April 2014 g.). Zhitomir, 2014. P. 221–223 (in Russ.).
9. *Blankitny skarb Belarusi: entsiklopediya* [Blank are the belongings of Belarus: encyclopedia]. Minsk, 2007 (in Belarusian).
10. Sigareva L. Ye. *O vliyaniy kharaktera mekhanicheskogo razrusheniya fitoplanktona na stepen' ekstragirovaniya yego pigmentov* [About the influence of the nature of the mechanical destruction of phytoplankton on the degree of extraction of its pigments]. *Biologiya vnutrennikh vod: Inform. byul.* 1974. No. 24. P. 8–11 (in Russ.).
11. SCOR-UNESCO Working group № 17. *Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monographs on Oceanologic Methodology.* UNESCO, Paris, 1966. P. 9–18.
12. Nayek S., Choudhury Imranul H., Jaishee N., et al. *Spinelectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents.* *Research J. of Chemical Sciences.* 2014. Vol. 4, No. 9. P. 63–69.
13. Ritchie R. J. *Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organism using acetone, methanol, or ethanol solvents.* *Photosynthetica.* 2008. Vol. 46, No. 1. P. 115–126.
14. Ostapenya A. P. *Polnota okisleniya organicheskogo veshchestva vodnykh bespozvonochnykh metodom bikhromatnogo okisleniya* [Completeness of oxidation of organic matter of aquatic invertebrates by the method of bichromate oxidation]. *Dokl. AN BSSR.* 1965. T. 9, No. 4. P. 273–276 (in Russ.).
15. Mastitskiy, S. E. *Metodicheskoye posobiye po ispol'zovaniyu programmy STATISTICA pri obrabotke dannykh biologicheskikh issledovaniy* [Methodological manual on the use of the STATISTICA program in the processing of biological research data]. Minsk, 2009 (in Russ.).
16. Sigareva L. Ye., Lyashenko O. A. *Znachimost' pigmentnykh kharakteristik fitoplanktona pri otsenke kachestva vody* [Importance of pigment characteristics of phytoplankton in water quality assessment]. *Vodnyye resursy.* 2004. T. 31, No. 4. P. 475–480 (in Russ.).
17. Stanislavskaya Ye. V. *Pigmentnyye kharakteristiki perifitona ozerno-rechnykh sistem urbanizirovannykh territoriy* [Pigment characteristics of the periphyton of lake-river systems of urbanized territories]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk.* 2016. T. 18, No. 2 (2). P. 502–506 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 05.02.2018
Received by editorial board 05.02.2018

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Батова Н. Н.</i> Институциональные основы и международная оценка экологической составляющей устойчивого развития.....	4
<i>Кулалаева Н. В.</i> Повышение экологической компетентности педагогов профессионально-технических учебных заведений строительного профиля	15

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Алёхина Т. Н.</i> Содержание и распределения оксидов железа в зависимости от гранулометрического состава донных осадков рек Украины	24
<i>Бахтин А. В., Хох А. Н., Позняк С. С.</i> Перспективы использования молекулярной спектроскопии в ближней ИК-области для доказательства происхождения срубленной древесины с места незаконной рубки.....	30
<i>Ковалев В. Ф., Гончарова Н. В.</i> Влияние климатических факторов на формирование семян сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в условиях перманентного облучения	38
<i>Макаренко Т. В., Косматков А. С.</i> Динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях и водных растениях р. Сож в районе Гомеля.....	48
<i>Тюлькова Е. Г., Авдашкова Л. П.</i> Активность фотосинтетического аппарата древесных растений в техногенных условиях (на примере промышленных предприятий Гомеля и Гомельской обл.)	61

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Цыбулько Н. Н.</i> Районирование территории радиоактивного загрязнения Беларуси на основе комплексной почвенно-радиологической оценки	69
--	----

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Бушневич В. Н., Позняк Е. И., Дашкевич М. А., Петренко Н. М., Бандарчук В. А.</i> Влияние фунгицидов на элементы структуры и урожайность зерна тритикале озимого сорта <i>Динамо</i>	76
<i>Глазачева Г. И., Курлович Т. А., Бурак В. М., Вагина Т. Н.</i> Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Республики Беларусь по итогам обработки формы госстатотчетности 1 – воздух (Минприроды)	81
<i>Миронов В. А., Шишкин А. Ю., Поляков А. В., Трейс Ю. К.</i> Извлечение меди из водных растворов с использованием железных порошковых материалов	97
<i>Рылова Т. Б., Позняк С. С., Конопелько О. М., Хох А. Н.</i> Сравнительный анализ спорово-пыльцевых комплексов лекарственного растительного сырья «мать-и-мачехи листья» (<i>Tussilaginifolia farfarae folia</i>) разного эколого-географического происхождения	103
<i>Смольская О. С., Жукова А. А.</i> Спектральные пигментные индексы фитопланктона в разнотипных водных объектах Беларуси.....	113

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Batava N. N.</i> Institutional bases and international assessment of the ecological component of sustainable development.....	5
<i>Kulalaieva N. V.</i> Increase of environmental competence of teachers of professional and technical schools of the construction profile.....	15

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Alekhina T. M.</i> Content and distribution of oxides of the generation depending on the granulometric composition of the donal sediments of the rivers of Ukraine.....	25
<i>Bakhtin A. V., Khokh A. N., Pazniak S. S.</i> Prospects of using molecular near infrared spectroscopy for the proof of felled wood origin from the place of illegal felling.....	31
<i>Kovalev V. F., Goncharova N. V.</i> The climite factors impact on pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) seeds in the conditions of permanent irradiation exposure	38
<i>Makaranka T. V., Kasmatskou A. S.</i> Content dynamics of heavy metals in bottom sediments and aquatic plants of r. Sozh in the Gomel region	48
<i>Tsiulkova E. G., Avdashkova L. P.</i> Activity of photosynthetic apparatus of wood plants in technogenic conditions (on the example of industrial enterprises of Gomel and Gomel region)	61

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Tsybulka M. M.</i> Zoning of the territory of radioactive contamination of Belarus based on the integrated soil-radiological evaluation.....	70
---	----

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Bushtewich V. N., Pazniak E. I., Dashkevitch M. A., Petrenko N. M., Bondarchuk V. A.</i> Influence of fungicides on the elements of structure and crop productivity of grain triticales of winter variety <i>Dynamo</i>	77
<i>Hlazachova H. I., Kurlovich T. A., Burak V. M., Vagina T. N.</i> Estimation of pollutants emissions in atmospheric air of the Republic of Belarus by the results of processing of the form of state statistical reporting 1–air (Ministry of natural resources).....	82
<i>Mironov V. A., Shishkin A. Y., Polakov A. V., Treijs J. K.</i> Extraction of cooper from aqueous solutions using iron powder	97
<i>Rylova T. B., Pazniak S. S., Konopelko O. M., Khokh A. N.</i> Comparative analysis of spore-pollen complexes of coltsfoot crude drug (<i>Tussilaginif farfarae folia</i>) of different ecological-geographical origin.....	103
<i>Smolskaya O. S., Zhukava H. A.</i> Spectral pigment indices of phytoplankton in different water objects of Belarus	113

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

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

**Журнал Белорусского
государственного университета. Экология.
№ 1. 2018**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

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

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1, каб. 205-2, 302,
220070, Минск.
Тел. 398-89-34, 398-93-44.
E-mail: bulletin@iseu.by

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

Редакторы Л. М. Кореневская, Т. А. Лавринович
Технический редактор Д. В. Головач
Корректор А. В. Красуцкая

Подписано в печать 15.03.2018.
Тираж 100 экз. Заказ 88.

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

© БГУ, 2018

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 1. 2018**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk.

Correspondence address: Dolgobrodskaya str., 23/1, office 205-2, 302,
220070, Minsk.
Tel. 398-89-34, 398-93-44.
E-mail: bulletin@iseu.by

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

Editors L. M. Korenevskaya, T. A. Lavrinovich
Technical editor D. V. Golovach
Proofreader A. V. Krasutskaya

Signed print 15.03.2018.
Edition 100 copies. Order number 88.

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

© BSU, 2018