

# *Природо- пользование*

**ВЫПУСК 26**



2014

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

# Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 26



МИНСК

«СтройМедиаПроект»

2014

УДК 504.(476) (082)

В сборнике приведены результаты исследований по проблемам природопользования и охраны окружающей среды, разработки биосферносоставимых технологий переработки и использования твердых горючих ископаемых, растительного сырья и отходов.

Рассчитан на широкий круг научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области рационального природопользования и экологии.

Главный редактор  
академик, д-р геол.-мин. наук А. К. Карабанов

#### РЕДКОЛЛЕГИЯ:

академик, д-р сел.-хоз наук Н. Н. Бамбалов, д-р техн. наук Н. И. Березовский,  
д-р техн. наук Г. П. Бровка, д-р геогр. наук А. А. Волчек, канд. геогр. наук О. В. Кадацкая,  
д-р техн. наук С. В. Какарека, канд. техн. наук Г. А. Камышенко, д-р геогр. наук Т. И. Кухарчик  
(отв. секретарь), д-р геогр. наук В. Н. Киселев, член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук А. В. Кудельский,  
академик, д-р геогр. наук В. Ф. Логинов, академик, д-р техн. наук И. И. Лиштван, канд. техн. наук  
В. Н. Марцуль, академик, д-р геол.-мин. наук А. В. Матвеев, д-р техн. наук Э. И. Михневич,  
д-р техн. наук Г. В. Наумова, д-р геогр. наук И. И. Пирожник, канд. геол.-мин. наук В. В. Савченко,  
канд. геогр. наук М. И. Струк, канд. хим. наук А. Э. Томсон (зам. гл. редактора),  
д-р геогр. наук В. С. Хомич (зам. гл. редактора), академик, д-р сел.-хоз наук А. Р. Цыганов

Адрес редакции:  
ул. Ф. Скорины, 10, 220114 г. Минск  
тел. (017) 267-26-32, факс (017) 267-24-13  
E-mail: [nature@ecology.basnet.by](mailto:nature@ecology.basnet.by)

## СОДЕРЖАНИЕ

Выступление Премьер-министра Республики Беларусь М. В. Мясниковича на климатическом саммите ООН	5	
<b>I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>		
<b>Логинов В. Ф., Табальчук Т. Г.</b>	Изменчивость величины трендов температуры в годовом ходе	6
<b>Логинов В. Ф., Табальчук Т. Г.</b>	Временная изменчивость повторяемости «крещенских морозов» на территории Беларуси	11
<b>Какарека С. В.</b>	Оценка фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: методические подходы	16
<b>Овчарова Е. П., Кадацкая О. В.</b>	Геоэкологические критерии для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях	25
<b>Тановицкая Н. И., Ратникова О. Н.</b>	Результаты изучения режима уровней грунтовых вод болота Ельня и рекомендации по его оптимизации	31
<b>Савич-Шемет О. Г.</b>	Климатообусловленные изменения уровней подземных вод в Беловежской пуще	39
<b>Хомич В. С., Рыжиков В. А., Курман П. В.</b>	Золоотвалы ТЭЦ как источники загрязнения почв поликлиническими ароматическими углеводородами	44
<b>Козыренко М. И., Кухарчик Т. И.</b>	Загрязнение почв тяжелыми металлами у окрашенных зданий и сооружений	54
<b>Сорокина Л. Ю.</b>	Принципы организации базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины»	60
<b>Кравчук Л. А., Судник А. В., Быкова Н. К., Баженова Н. М., Пац А. Ч.</b>	Ассимиляция диоксида углерода лесами Минска и пригорода	72
<b>Пац А. Ч.</b>	Сравнительный анализ аккумуляции пыли и тяжелых металлов древесными растениями в зонах воздействия промышленных предприятий	77
<b>Яновский А. А.</b>	Автоматизация радиометрической коррекции спутниковых снимков при картографировании деградированных торфяных почв Беларуси	85
<b>Яновский А. А., Бамбалов Н. Н.</b>	Автоматизация картографирования деградированных торфяных почв Беларуси по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения	92
<b>Макаренко Т. И., Лис Л. С., Кунцевич В. Б., Кашинская Т. Я., Калилец Л. П., Мультан С. Т.</b>	Распределение торфяных ресурсов Могилевской области и направления их использования	101
<b>Краковецкий А. В.</b>	Эколого-экономическая оценка направлений использования торфяных ресурсов Беларуси	109
<b>II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		
<b>Лиштван И. И., Януга Ю. Г., Абрамец А. М., Кашицкий Э. С., Першай Н. С.</b>	Гуминовые препараты на основе каустобиолитов в науке и практике	119
<b>Бровка Г. П., Лиштван И. И., Сосновская Н. Е., Дорожок И. Н.</b>	Оценка технологической возможности извлечения из зольных остатков бурых углей сопутствующих макро- и микрокомпонентов	127
<b>Томсон А. Э., Гончарова И. А., Сосновская Н. Е., Иконникова Н. В., Арашкова А. А., Соколова Т. В., Пехтерева В. С.</b>	Связывание ионов тяжелых металлов отработанным субстратом промышленного культивирования гриба <i>Pleurotus ostreatus</i>	133
<b>Томсон А. Э., Навоша Ю. Ю.</b>	Применение метода нарушенного полного внутреннего отражения для исследования растворов гуматов	137

<b>Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В.</b>	Коагуляция гуматов, выделенных из торфа водным аммиаком	143
<b>Соколов Г. А., Красноберская О. Г., Симакина И. В.</b>	Влияние состава комплексных гранулированных удобрений на развитие растений в водной и песчаной культурех	147
<b>Соколов Г. А., Симакина И. В., Красноберская О. Г.</b>	Изменение почвенного гуминового комплекса под воздействием минеральных удобрений	153
<b>Коврик С. И., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А., Павлов К. А., Спесивцева Ю. Б.</b>	Оценка показателей прецизионности методики определения массовой доли механических примесей в жидких гуминовых препаратах	160
<b>Курзо Б. В., Жуков В. К., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В., Кашицкий Д. Э., Счастная Н. И.</b>	Применение гумата натрия из торфа и сапропеля при лечении дерматита: результаты экспериментальных исследований	166
<b>Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Мазур Н. В., Кашицкий Д. Э., Ситник Г. Д.</b>	Перспективные месторождения сапропелевых лечебных грязей на территории Беларуси	173
<b>Шакиров Ш. К., Файзрахманов Р. Н., Хузин Р. Р.</b>	«Сапромикс» – альтернативный концентрат на основе сапропеля	180
<b>Наумова Г. В., Томсон А. Э., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф.</b>	Химическая характеристика сырья новой биологически активной пектинсодержащей кормовой добавки	186
<b>Пономаренко Ю. А.</b>	Влияние хлореллы, обогащенной йодом и селеном, на продуктивность цыплят-бройлеров и получение функциональной продукции	191
<b>Пономаренко Ю. А.</b>	Эффективность применения хлореллы, обогащенной йодом и селеном, в рационах кур-несушек	197
<b>Царюк Т. Я., Фалюшина И. П.</b>	Продукты переработки рапсового масла как компоненты консервационных материалов	203
<b>Лесун Б. В.</b>	Разработка процесса агломерации сырьевой смеси при использовании фрезерного торфа и топливных брикетов	209
<b>Бровка А. Г., Дедюля И. В.</b>	Установка для определения теплопроводности эталонных образцов грунтов	215

#### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

<b>Лиштван И. И., Высоченко А. В., Пахомчик В. Э., Якимович И. Л.</b>	О ходе выполнения Государственной научно-технической программы «Природные ресурсы и окружающая среда»	220
---	---	-----

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<b>Стригуцкий В. П., Цвирко Л. Ю., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.</b>	Влияние уровня СВЧ-мощности на форму спектров ЭПР гуминовых кислот	226
--	--	-----

#### ДИСКУССИЯ

<b>Гриншпан Д. Д.</b>	Открытый разговор о воде, которую мы пьем	229
-----------------------	---	-----

#### ХРОНИКА

<b>Лиштван И. И., Карабанов А. К.</b>	Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири	237
<b>Мамедов Р. М., Снытко В. А., Хомич В. С.</b>	Географические исследования путей достижения устойчивого развития территорий	241

#### ЮБИЛЕИ

	К 80-летию члена-корреспондента А. В. Кудельского	243
--	---	-----

## **Выступление Премьер-министра Республики Беларусь М. В. Мясниковича на климатическом саммите ООН**

Изменение климата – это глобальный вызов для всего человечества. Эффективный ответ на него может быть только всеобщим.

Беларусь поддерживает инициативу ООН и Евросоюза о новом климатическом соглашении, которое призвано играть эту роль. И успех будет только тогда, когда каждое государство планеты добровольно внесет свой вклад в совместный ответ.

Республика Беларусь выполняет взятые на себя обязательства по Киотскому протоколу. Мы сократили выбросы парниковых газов в сравнении с 1990 годом на треть при реальном росте ВВП за этот период в 2 раза. В 3 раза сокращена энергоемкость ВВП. Половина территории Беларуси – это леса, болота и озера, бережно сохраняемые и культивируемые.

Беларусь создала рыночную среду «для зеленых инвестиций». Законодательно закреплены гарантии и налоговые льготы для инвесторов. Наша страна является донором климатической безопасности региона. Это «легкие» Европы.

Беларусь могла бы сделать еще больше, если бы экономические механизмы Киотского протокола были более эффективными. Мотивационные инструменты нового климатического соглашения должны быть общедоступными и справедливыми. Каждый участник Соглашения, снизивший выбросы, должен быть поощрен. При этом развитые страны должны поощрять прямые инвестиции в экологически ответственных государствах. Необходимо прочно увязать климатические договоренности с системой обязательств в области устойчивого развития.

Особое внимание должно быть уделено энергетике и всеобщему доступу к чистым технологиям. В этой связи считаем важной и актуальной инициативу Генерального секретаря ООН Пан Ги Муна «Устойчивая энергетика для всех». Интеграции этих вопросов можно достичь путем формирования комплексной энергетической повестки ООН в интересах устойчивого развития.

Приываем правительства всех стран мира принять на себя добровольные амбициозные, но реальные обязательства. Нам всем надо прийти с ними к подписанию нового климатического соглашения. Беларусь готова сделать это на изложенных принципах.

*М. В. Мясникович*

*г. Нью-Йорк (США),  
23 сентября 2014 г.*

## I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.583

**В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук**

### ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ТRENДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОДОВОМ ХОДЕ

*Проанализированы особенности изменения линейных трендов среднесуточных температур на территории Беларуси по отдельным периодам, а также по скользящим 20-летним периодам. Рассмотрены суммы положительных трендов за год и отдельно за теплый и холодный периоды, суммы положительных трендов в периоды максимальной и минимальной адвекции тепла течениями на Кольском меридауне.*

Исследование величины трендов температуры посвящено большое количество работ, однако в основном внимание уделялось трендам для различных месяцев года и для всего года в целом [1, 3, 4]. В работе [2] была поставлена задача детального анализа температурных трендов для различных дней года за период с 1966 по 2008 г. для станции Минск. Анализ показал, что в годовом ходе наибольшие величины трендов как ночных, так и дневных температур приходятся на середину января, а также конец июля – август. В мае и ноябре тренды температуры слабые положительные или даже слабые отрицательные. Величины трендов температуры в годовом ходе модулируются адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим, в изменении которой содержится полугодовая составляющая, определяющаяся взаимодействием атмосферы и океана. Эти результаты свидетельствуют о том, что только ростом содержания парниковых газов в атмосфере нельзя объяснить сезонные особенности современного потепления климата в Беларуси.

В данном исследовании объем использованного материала был существенно расширен: исходными данными послужили среднесуточные температуры воздуха на 25 метеостанциях Беларуси за период 1955–2012 гг.

Известно, что изменчивость температуры в холодное время года значительно выше, чем в теплое. В связи с этим была проведена нормировка трендов среднесуточных температур. Нормировка осуществлялась делением значения суточного тренда на среднеквадратическое отклонение температуры данных суток.

С учетом наличия в исходных рядах значительной стохастической составляющей, для каждого рассмотренного периода было проведено сглаживание ряда методом расчёта скользящего среднего по 49 точкам. Тем самым была существенно уменьшена амплитуда короткопериодных колебаний.

Точкой отсчета на всех графиках была выбрана дата 22 января (день зимнего солнцестояния).

На рис. 1 изображен график величины линейных трендов ( $y = ax + b$ ) среднесуточных температур за весь доступный период (1955–2012 гг.). В общих чертах сезонный характер трендов температуры схож с полученным В. Ф. Логиновым [2]. Однако если в работе [2] наибольшая величина трендов приходилась на зимний и весенний периоды то здесь явно преувеличивает рост величин трендов температуры во второй половине лета и осенью. Минимум величины трендов температуры остается выраженным в конце весны – начале лета, а ноябрьский минимум температуры стал менее заметен, хотя в работе [2] он проявлялся отчетливо.

Существенный зимне-весенний максимум трендов температуры сохранился для двух периодов (1955–1978 и 1979–1998 гг.) (рис. 1, б, в). В последние годы (1999–2012 г.) максимальные тренды температуры наблюдаются в конце лета – первой половине осени (рис. 1, г), т. е. в эти годы кардинально трансформировалась структура изменений трендов в годовом ходе. В целом в теплое время года (16.04–15.10) величина положительных нормированных трендов температуры оказалась в 1,8 раза больше, чем в холодное (16.10–15.04).

Изменение значений величины трендов для скользящих 20-летних периодов представлено на рис. 2.

Из рис. 2 следует ряд особенностей в изменении величины трендов температуры: 1) в более ранних периодах заметны более высокие значения температуры в конце зимы – весной (рис. 2, а–в); 2) в периоды 1980–1999 и 1990–2012 гг. наблюдается фактически противоположный ход значений суточных трендов (рис. 2, е, з); для периодов 1970–1989 и 1990–2012 гг. (рис. 2, г, з) зимне-весенний максимум трендов заметно меньше летне-осеннего.

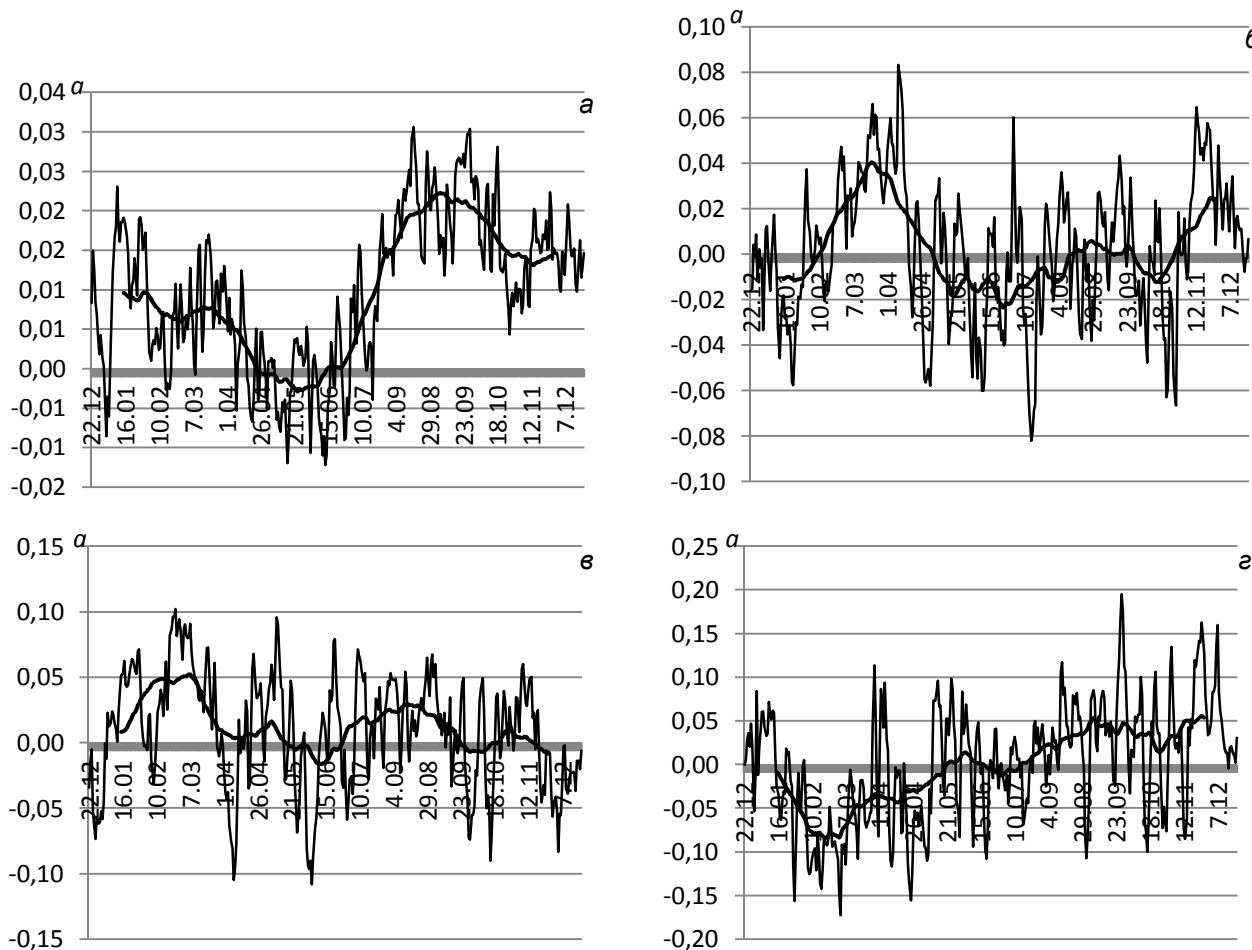


Рис. 1. Нормированные линейные тренды среднесуточных температур:  
а – за 1955–2012 гг.; б – 1955–1978; в – 1979–1998; г – 1999–2012 гг.

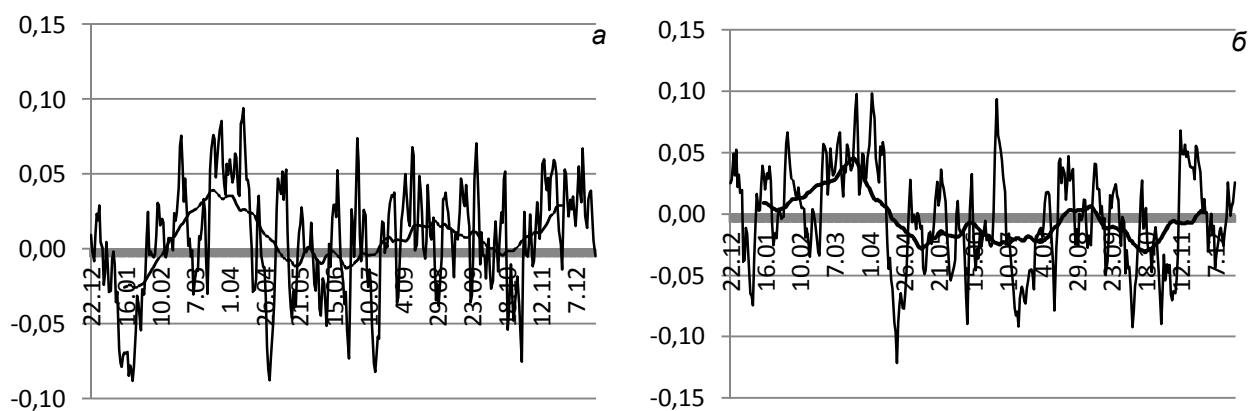
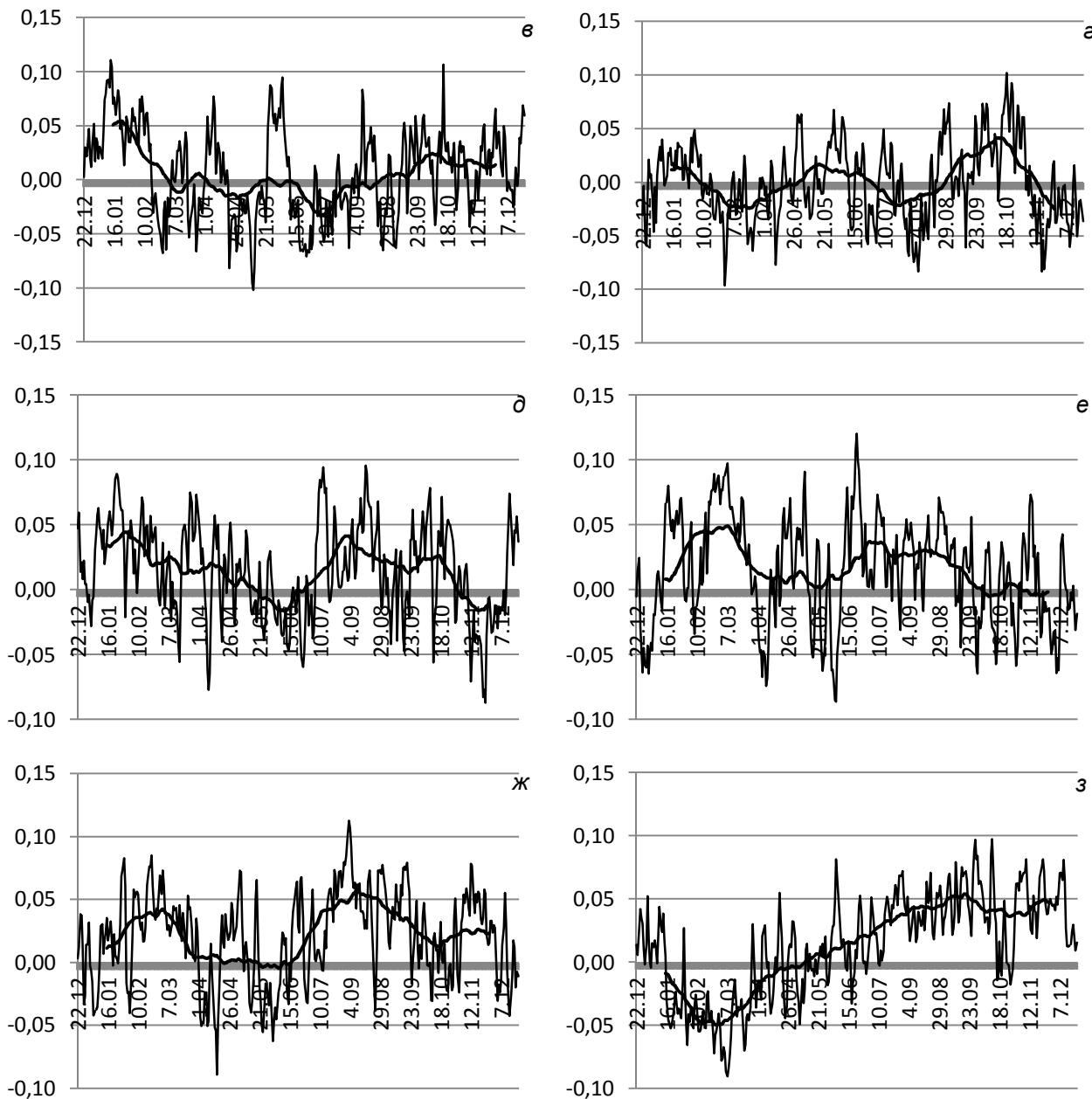


Рис. 2. Нормированные линейные тренды среднесуточных температур по скользящим 20-летним периодам: а – 1955–1974 гг.; б – 1960–1979; в – 1965–1984; г – 1970–1989;  
д – 1975–1994; ж – 1985–2004; з – 1990–2012 гг.



Окончание рис. 2.

Анализ сумм нормализованных положительных среднегодовых трендов температуры показал, что до середины 70-х годов прошлого столетия сумма величин годовых нормализованных положительных трендов температуры не испытывала каких-либо выраженных изменений: их увеличение наметилось только со второй половины 70-х годов (рис. 3, кривая 1). Это увеличение обеспечивается ростом величин трендов в теплый период времени (рис. 3, кривая 2), начиная с 70-х годов прошлого столетия, тогда как в текущем столетии наметилось падение величин трендов температуры в холодное время года (рис. 3, кривая 3). Если в начале анализируемого периода сумма нормированных положительных

трендов температуры была выше в холодный период времени (16.10–15.04), то в последние десятилетия – в тёплый период времени (16.04–15.10) (рис. 3, кривые 2 и 3). При максимальной адвекции тепла течениями системы Гольфстрим на Кольском меридиане (01.01–31.03 и 16.07–15.09) величина нормированных положительных трендов температуры чаще выше, чем при минимальной адвекции тепла (01.05–30.06 и 15.10–30.11) (рис. 4), что в основном согласуется с ранее сделанным выводом о значительной роли течений системы Гольфстрим в формировании температурного режима Беларусь [2], хотя в текущем столетии максимум положительных трендов температуры в конце зимы – начале весны

не проявляется. Это свидетельствует о том, что, вероятно, адвекция тепла течениями системы Гольфстрим в конце зимы – начале весны в последние годы была ослаблена. Такое ослабление течений системы Гольфстрим при потеплении климата и распреснении вод Северной Атлантики («Великая солёносная аномалия») предсказывалось во многих работах. Подобное явление имело место в 60-е годы прошлого столетия, когда отмечались «Великая солёносная аномалия» в Северной Атлантике, ослабление течений системы Гольфстрим и большая повторяемость

суровых зим в Северном полушарии, Европе и Беларуси (1962–1963, 1963–1964, 1967–1968, 1968–1969 гг.). В 60-е годы была минимальной разница между суммами нормированных положительных трендов температуры в периоды наибольшей и наименьшей адвекции тепла течениями на Кольском меридиане. Этот вывод подтверждают и значения нормированных линейных трендов среднесуточных температур для периода 1960–1970 гг. В это время наблюдались отрицательные значения трендов в зимне-весенний период и положительные в летне-осенний.

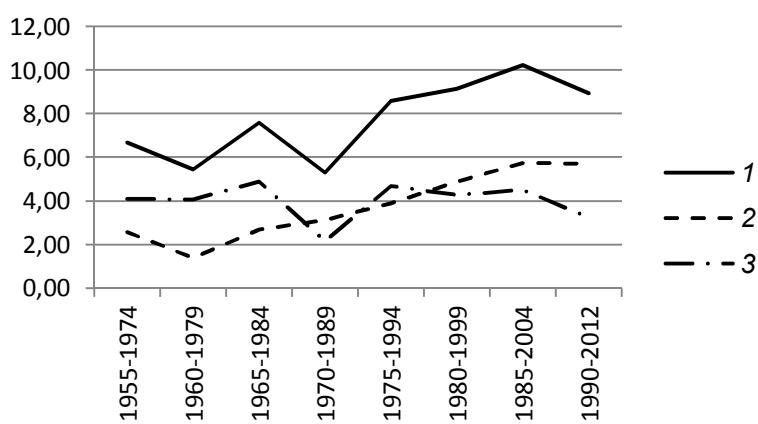


Рис. 3. Суммы нормированных положительных трендов:  
1 – за год; 2 – за теплый период; 3 – за холодный период

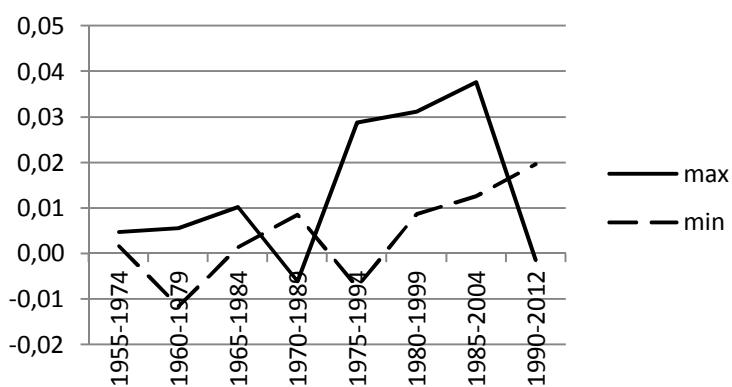


Рис. 4. Суммы нормированных положительных трендов температуры в периоды максимальной и минимальной адвекции тепла течениями на Кольском меридиане

Анализ показал, что в период с 1960 по 1970 г. наблюдалась отрицательные значения трендов в зимне-весенний период и положительные в летне-осенний. Та же самая картина отмечается и в последние годы.

Тенденция к увеличению повторяемости сравнительно холодных зим в Беларуси по сравнению с концом прошлого столетия наблюдается в последнее время. Возможно, это и есть первый сигнал наступления эпохи ослабления течений системы Гольфстрим и, как следствие, увеличения повторяемости холодных зим. В то

же время ослабление адвекции тепла течениями во второй половине зимы – начале весны, вероятно, сопровождается сильным увеличением адвекции тепла течениями во второй половине лета – осенью. Об этом свидетельствует смещение максимума потепления климата на это время.

Приведенные здесь соображения могут быть подтверждены или опровергнуты анализом данных по адвекции тепла течениями системы Гольфстрим в текущем столетии, но, к сожалению, такими данными мы не располагаем.

### **Литература**

1. Груза, Г. В. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата / Г. В. Груза, Э. Я. Рањкова // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 49–54.
2. Логинов, В. Ф. Влияние Атлантического океана на величину трендов температуры в период современного потепления / В. Ф. Логинов // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 10–19.
3. Переведенцев, Ю. П. Региональные проявления современного потепления климата в тропостратосфере Северного полушария / Ю. П. Переведенцев [и др.] // Изв. РАН. – Сер. геогр. – 2005. – № 6. – С. 6–16.
4. Шерстюков, Б. Г. Изменения, изменчивость и колебания климата / Б. Г. Шерстюков – Обнинск, 2011.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 29.07.2014 г.

**V. F. Loginov, T. G. Tabalchuk**

### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОДОВОМ ХОДЕ**

Приведены результаты анализа нормированных линейных трендов среднесуточных температур на территории Беларуси по отдельным периодам, а также по скользящим 20-летним периодам. Показано смещение максимальных трендов температуры на конец лета – первую половину осени в последние годы (1999–2012 гг.). В целом в теплую время года (16.04–15.10) величина положительных нормированных трендов температуры оказалась в 1,8 раза больше, чем в холодное (16.10–15.04). Рассмотрены суммы положительных трендов за год и отдельно за тёплый и холодный периоды: если в начале анализируемого периода сумма нормированных положительных трендов температуры была выше в холодный период времени, то в последние десятилетия – в тёплый период времени. Анализ сумм положительных трендов в периоды максимальной и минимальной адвекции тепла течениями на Кольском меридиане показал, что при максимальной адвекции тепла течениями системы Гольфстрим величина нормированных положительных трендов температуры чаще выше, чем при минимальной адвекции тепла.

**V. F. Loginov, T. G. Tabalchuk**

### **VARIABILITY OF THE INTENSITY OF TEMPERATURE TRENDS IN THE ANNUAL VARIATIONS**

Results of the analysis of normalized linear trends of average daily temperatures in Belarus on separate periods, and also on a rolling 20-year period have been held. The shift of maximum temperature trends in late summer – early autumn in recent years (1999–2012) are shown. In general, during the warm season (16.04–15.10) the value of the normalized positive trends in temperature was 1.8 times higher than in the cold (16.10–15.04). The sums of the positive trends for the year and separately for the warm and cold periods, if at the beginning of the analyzed period, the sum of the normalized positive trend of the temperature was higher during the cold period of time, in the last decade – in the warm period have been considered. The analysis of the amounts of positive trends in the periods of maximum and minimum heat advection currents at the Kola meridian showed that at maximum heat advection currents of the Gulf Stream value normalized positive temperature trends often higher than the minimum heat advection.

**В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук****ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВТОРЯЕМОСТИ  
«КРЕЩЕНСКИХ МОРОЗОВ» НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*Проанализированы особенности изменения температуры в январе на территории Беларуси для различных временных периодов. Рассмотрена повторяемость «крещенских морозов» и выявлена их связь с общей циркуляцией атмосферы.*

Испокон веков человечество пыталось предсказать погоду и климат с различной заблаговременностью. Наблюдения, заметки, приметы о погоде и климате, общие закономерности их изменчивости – все эти эмпирические знания тщательно систематизировались и бережно передавались последующим поколениям. Поэтому не удивительно, что погодные приметы всегда были предметом внимания со стороны исследователей. К примеру, в книге А. Н. Роцина «Сам себе синоптик» [3] собраны признаки ясной, неустойчивой и ненастной погоды, признаки появления заморозков и гроз, а также другие народные приметы.

Календарные особенности температуры рассматривались Б. Г. Шерстюковым и В. Ф. Логиновым в [4]. Ими было установлено, что календарные особенности температуры в различных географических районах приходятся на различные календарные дни. Обычно предполагается, что ритмичность календарных особенностей метеоэлементов и синоптических процессов в годовом ходе – проявление свободных колебаний атмосферы. Л. А. Вительс объясняет механизм проявления календарных особенностей через модуляцию колебаний атмосферы солнечной активностью при определенном чередовании активных долгот Солнца [1]. Б. Г. Шерстюков и В. Ф. Логинов [5] показывают, что активные долготы с периодом 28,09 дней в значительной мере объясняют появление календарных особенностей в геомагнитной активности. Неустойчивость этих особенностей в различные годы 11-летнего цикла связана с изменением периода вращения активных долгот на разных гелиографических широтах. Активные долготы Солнца проявляются в общей циркуляции атмосферы, а следовательно, в погоде и климате [6].

Принимая во внимание то, что календарные даты в районах СНГ различаются и связаны с циркуляционными особенностями [5], исследование календарных дат было выполнено для конкретной территории Республики Беларусь. Особый интерес представляет оценка устойчивости календарной даты «крещенских морозов», поскольку именно они запечатлелись в памяти

народа и широко обсуждались в различного рода изданиях.

Исходными материалами для исследования послужили данные среднесуточных температур воздуха на метеостанциях Беларуси за период 1955–2012 гг. На основании этих данных был построен график годового хода средней суточной температуры воздуха для территории Беларуси (рис. 1). Как видно из рисунка, в отдельные дни года заметны положительные и отрицательные отклонения температуры от полиномиального описания годового хода температуры (формула полинома приведена на рис. 1). Был также рассмотрен годовой ход температуры для двух временных периодов: первый период – до момента интенсивного потепления климата (1955–1987 гг.), а второй период совпадает с годами интенсивного потепления (1988–2012 гг.). В изменениях годового хода среднесуточной температуры заметны некоторые различия. В последние годы примерно на 2,5 град. выросла температура зимних месяцев. Потепление летом выражено менее интенсивно и составляет примерно 1 град. Для более раннего периода характерны отрицательные отклонения температуры в январе и положительные в феврале, а в период с 1988 по 2012 г. – наоборот. В 1955–1987 гг. присутствуют положительные отклонения в мае и первой половине июня и отрицательные отклонения – во второй половине июня и июле. В последующие годы отсутствуют положительные отклонения в мае–июне, однако появляются в августе. Все это свидетельствует о том, что очертания одного из самых устойчивых колебаний температуры (исключение составляет суточный ход) отличаются для различных временных эпох. Указанные особенности в изменении годового хода температуры в разные временные периоды, вероятно, носят случайный характер и объясняются в первую очередь использованием небольших выборок температуры.

Рассмотрим более детально особенности изменения температуры в январе, когда собственно и отмечаются «крещенские морозы» (рис. 2).

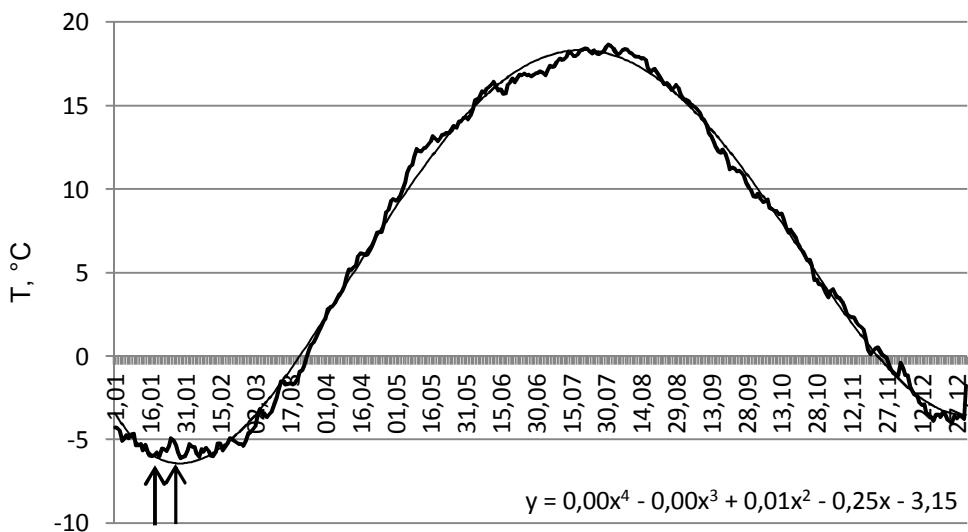


Рис. 1. Годовой ход среднесуточной температуры воздуха для территории Беларуси

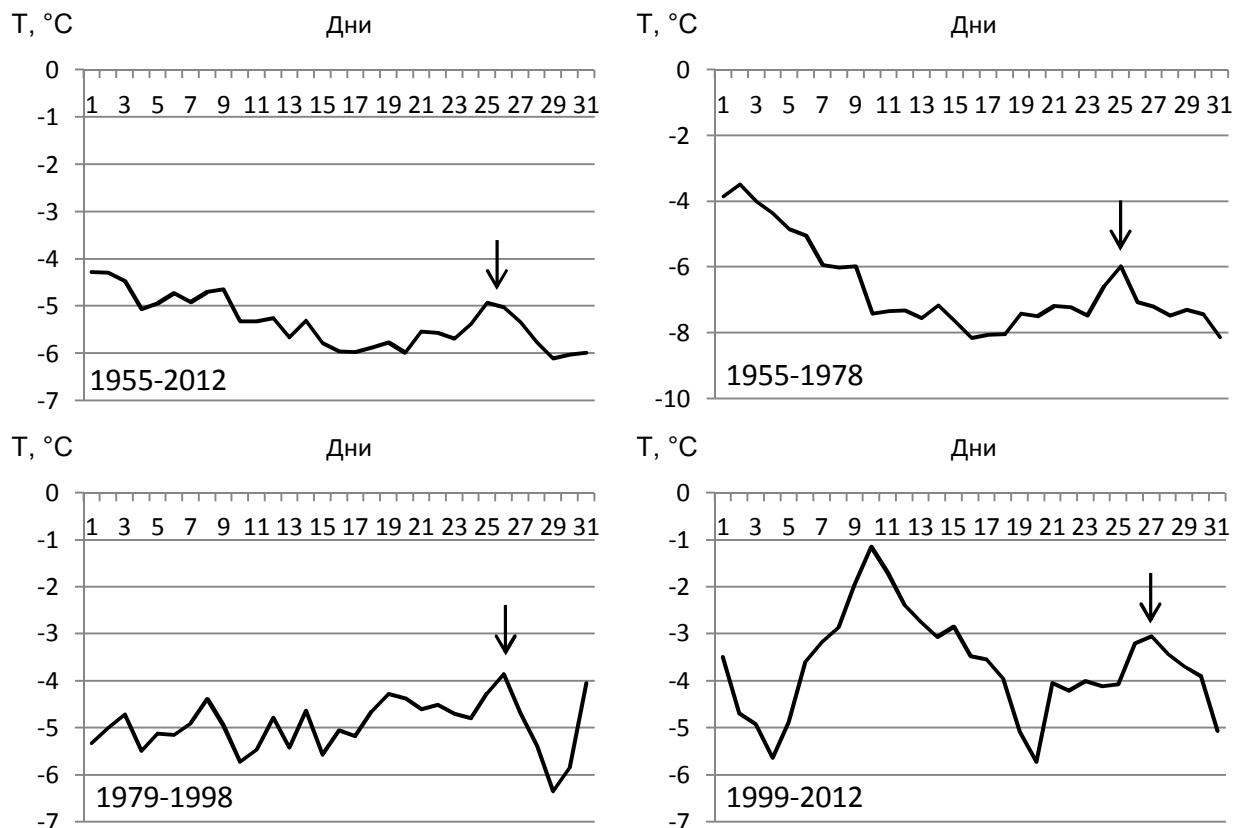


Рис. 2. Среднесуточные температуры воздуха в январе для различных временных периодов

Из рисунка следует, что для всего доступного ряда (1955–2012 гг.) заметны три основные особенности в изменении температуры: 1) снижение температуры от начала месяца до конца второй декады января; 2) самая низкая температура с 18 по 20 января; 3) рост температуры в третьей декаде января (максимум наблюдается 25–27 января).

Анализ изменения температуры в отдельные периоды времени (1955–1978, 1979–1998 и 1999–2012 гг.) показал, что только в 1955–1978 гг. характер изменения температуры в январе был аналогичен (коэффициент корреляции 0,9) изменению температуры для всего доступного периода (1955–2012 гг.).

В период с 1979 по 1998 г. «крещенские морозы» не были выражены вообще, а в самые последние годы (1999–2012 гг.) 5–17 января наблюдалась положительная аномалия температуры, что отличается от особенностей изменения температуры для всего доступного ряда и периода с 1955 по 1978 г.

Более устойчивой положительной температурной флюктуацией является флюктуация 25–27 января. Она устойчива для всех рассмотренных периодов. Данная флюктуация может претендовать на новую «календарную дату» даже с большим основанием, чем знаменитые «крещенские морозы», которые проявляются не во все проанализированные периоды.

Все выше изложенное свидетельствует о том, что «крещенские морозы» трудно привязать

к какой-либо конкретной дате второй декады января. Однако есть физические причины, которые в состоянии обеспечить большую вероятность появления суровых морозов именно во второй декаде января. Объяснить «крещенские морозы» можно активным выхолаживанием суши и моря к концу второй декады января и как следствие более частым распространением отрогов сезонного центра действия атмосферы – Сибирского антициклона на территорию Европы. Следовательно, определяющимся является термическое влияние суши и океана на развитие циркуляционных процессов и, как следствие, на погоду и климат.

Для каждого дня 18–20 и 25–27 января были построены графики средней суточной температуры за каждый год всего доступного периода наблюдений (1955–2012 гг.) (рис. 3).

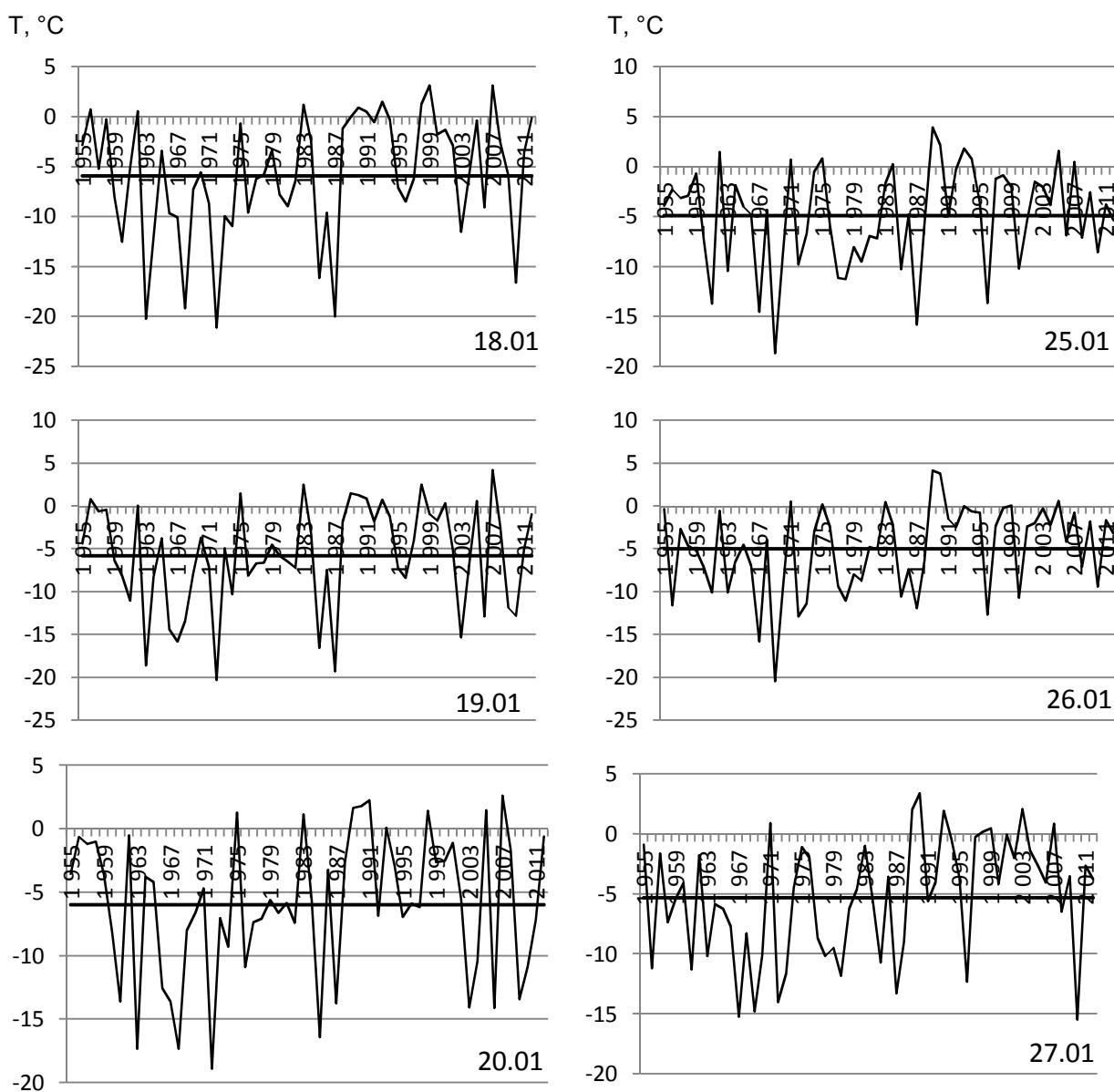


Рис. 3. Средняя температура воздуха за весь доступный период по отдельным датам

Из рисунка можно видеть, что хотя количество отрицательных аномалий температуры примерно одинаково в каждый из рассмотренных дней, 18–20 января абсолютные значения отрицательных аномалий в целом превышают значения отрицательных аномалий 25–27 января. Следует также отметить, что преобладание отрицательных аномалий до 1988 г. сменяется преобладанием положительных температурных аномалий в период с 1988 по 2012 г., когда началось активное потепление климата. Наиболее ярко «крещенские морозы» проявляются в период с 1955 до середины 70-х годов, а также с 2003 года, когда наблюдались 3 таких случая (2003, 2006 и 2009 гг.).

Наиболее выражен рост температуры («оттепели») в конце января (25–27 января) в период текущего потепления климата (1988–2012 гг.). В среднем число таких лет составило 75 %. Однако эта «оттепельная» календарная дата слабо выражена начиная со второй половины 60-х годов и до конца 70-х, когда число случаев положительных и отрицательных аномалий было приблизительно равным, а сильные морозы в эти даты случались достаточно часто.

Формирование указанных календарных дат связано с особенностями изменений свойств альбедо подстилающей поверхности, а именно существованием положительных альбедовых связей и интенсивным выхолаживанием подстилающей поверхности во второй половине декабря – январе, которые и обеспечивает более частое проявление «крещенских морозов» в конце второй декады января.

«Оттепельная» календарная дата в конце января, заметная в период текущего потепления климата, вероятно, связана с ослаблением действия названных выше факторов и некоторым увеличением радиационного воздействия с ростом высоты солнца. Рост радиационного воздействия становится более ярко выраженным со второй половины февраля (см. рис. 1).

Характер изменения температуры до (15.01–17.01) и после (21.01–23.01) «крещенских морозов» подобен, что свидетельствует в пользу объяснения более частого проявления сильных морозов в январе за счет интенсивного выхолаживания подстилающей поверхности. Кроме того, необходимо учитывать инерционность погод-

ных процессов, которая более заметно выражена в зимнее время.

Для выявления связи «крещенских морозов» с общей циркуляцией атмосферы был выполнен анализ различных типов атмосферной циркуляции по Вангенгейму–Гирсу. Были отобраны годы с наибольшей повторяемостью отдельных типов циркуляции атмосферы в зимнее время. Для западной циркуляции это 1957, 1961, 1975, 1988, 1989, 1990, 1993, 1995, 1998, 1999, 2002 и 2005 гг.; для восточной – 1955, 1956, 1966, 1967, 1970 и 1979 гг.; для меридиональной – 1963, 1964, 1968, 1992, 1997 и 2001 гг. Анализ показал, что самые низкие температуры 18–20 января наблюдаются только при меридиональном типе атмосферной циркуляции, когда территория Беларуси в течение зимы чаще находится в холодном секторе. Однако для всех трех типов циркуляции наблюдается повышение температуры 25–27 января, что свидетельствует о большей устойчивости именно этой «новой календарной даты».

Для 18–20 и 25–27 января была подсчитана повторяемость элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) по Б. Л. Дзерзееевскому [2]. Повторяемость большинства видов ЭЦМ для указанных дат различается незначительно. Однако суммарная повторяемость ЭЦМ, характеризующих выходы южных циклонов на территорию Беларуси (1б, 5г, 7аз, 9б, 12а, 12бз), 18–20 января составляет только 12 случаев, тогда как повторяемость ЭЦМ, характеризующих выходы южных циклонов, 25–27 января увеличивается до 18 случаев (на 33 %). Это свидетельствует о некотором ослаблении Сибирского антициклона в конце января, которое позволяет теплому южному воздуху чаще проникать на территорию Беларуси, увеличивая среднесуточную температуру в период «новой календарной даты».

Таким образом, в силу небольшой вероятности появления указанных положительных и отрицательных аномалий температуры вблизи указанных календарных дат прогностического смысла не имеет ни одна из них – ни «крещенские морозы», ни послекрещенские «оттепели» (25–27 января), хотя тенденция к формированию аномалий в рассмотренные календарные даты в отдельные 15–20-летние периоды времени просматривается более отчетливо.

## Литература

1. Вительс, Л. А. Солнечная природа атмосферных ритмов / Л. А. Вительс // Тр. ЦИП. – М., 1957. – Вып. 51. – С. 22-43.
2. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов северного полушария по Б. Л. Дзерзееевскому / Н. К. Кононова ; отв. ред. А. Б. Шмакин ; РАН, Ин-т географии. – М., 2009.
3. Рошин, А. Н. Сам себе синоптик / А. Н. Рошин. – 2-е изд., доп. – Киев, 1983.
4. Шерстюков, Б. Г. Календарные особенности температуры в различных частях первого естественного синоптического района / Б. Г. Шерстюков, В. Ф. Логинов // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. – Л., 1978. – Вып. 37. – С. 36-41.
5. Шерстюков, Б. Г. Календарные особенности в геомагнитной активности / Б. Г. Шерстюков, В. Ф. Логинов // Тр. ГГО им. А. И. Войкова. – Л., 1979. – Вып. 428 – С. 43-46.

6. Шерстюков, Б. Г. Активные долготы Солнца и их проявление в атмосферной циркуляции / Б. Г. Шерстюков, В. Ф. Логинов // Тр. ГГО им. А. И. Воейкова. – Л., 1979. – Вып. 428. – С. 37-42.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 29.07.2014 г.

**В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук**

**ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВТОРЯЕМОСТИ  
«КРЕЩЕНСКИХ МОРОЗОВ» НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Проведен анализ особенностей изменения температуры в январе на территории Беларуси для периодов 1955–1978, 1979–1998, 1999–2012 гг., а также для всего доступного временного ряда. Рассмотрена повторяемость «крешенских морозов», и повторяемость положительной температурной флюктуации 25–27 января. Большая вероятность появления сильных морозов во второй декаде января связана с интенсивным выхолаживанием подстилающей поверхности и более частым проникновением отрога Сибирского максимума на территорию Европы в это время. Выявлена связь «крешенских морозов» с меридиональным типом циркуляции атмосферы по Вангенгейму–Гирсу и элементарными циркуляционными механизмами, обеспечивающими выход южных циклонов на территорию Европы по Б. Л. Дзердзевскому.

**V. F. Loginov, T. G. Tabalchuk**

**TEMPORAL VARIABILITY OF «EPIPHANY FROSTS» RECURRENCE  
ON THE TERRITORY OF BELARUS**

*The analysis of the features of temperature changes in January on the territory of Belarus for the periods of 1955–1978, 1979–1998, 1999–2012, as well as the available time series has been held. The repeatability of «epiphany frosts» and repeatability positive temperature fluctuations 25–27 January has been considered. Most of the probability of occurrence of severe frosts in the second week of January is associated with an intense cooling of the underlying surface and spur more frequent penetration of the Siberian high across Europe at this time. A relationship between «epiphany frosts» with meridional type of atmospheric circulation on Vangenheim–Girsu and elementary circulation mechanisms that provide southern cyclones across Europe by B. L. Dzerdzevsky.*

**С. В. Какарека**

## **ОЦЕНКА ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ**

*Статья посвящена анализу методических подходов к оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в Беларусь, странах СНГ и ЕС. Показаны основные различия в методах установления фоновых концентраций, обусловленных различиями областей их применения. Показана возможность использования результатов мониторинга атмосферного воздуха в Европе для оценки показателей фоновых концентраций в населенных пунктах, где не проводятся стационарные наблюдения.*

Понятие «фоновая концентрация» – одно из базовых понятий в природопользовании. Оценка фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе – одна из важных задач мониторинга воздушной среды, предназначенного обеспечить контроль выполнения национальных и международных воздухоохраных соглашений и программ, ключевой компонент системы установления нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, размеров санитарно-защитных зон промышленных предприятий, проектных параметров объектов хозяйственной деятельности. От того, насколько точной и обоснованной будет информация о фоновых концентрациях, зависит, с одной стороны, качество атмосферного воздуха городов и других населенных мест, а с другой – расходы природопользователей на мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ. В этих условиях возникает ряд проблем, связанных с недостаточными возможностями получения необходимой информации о фоновых концентрациях из-за ограниченности измерительной сети. Так, одной из важных для практики задач является получение значений фоновых концентраций загрязняющих веществ для населенных пунктов и местностей, в которых не проводятся стационарные наблюдения.

В данной статье приведен обзор нормативных правовых и технических актов, регулирующих оценку фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в Беларусь, странах СНГ и в ЕС и изложены новые подходы к определению фоновых концентраций в населенных пунктах, где не проводятся стационарные наблюдения.

### **1. Методы оценки фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в странах СНГ**

**Республика Беларусь.** Согласно статье первой Закона Республики Беларусь от 16 декабря 2008 г. «Об охране атмосферного воздуха» [3], фоновая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе определяется как «концентрация загрязняющего вещества в

единице объема атмосферного воздуха, рассчитываемая по данным наблюдений за состоянием атмосферного воздуха конкретной территории и обусловленная влиянием всех источников выбросов на данной территории, включая трансграничное загрязнение атмосферного воздуха».

*Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89 (РД 90) [6]* определяет фоновую концентрацию вредного вещества (фон) как характеристику загрязнения атмосферы, создаваемого всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории, исключая источник, для которого определяется фоновая концентрация. За фоновую концентрацию принимается статистически достоверная максимальная разовая концентрация примеси (средняя за 20 мин), значение которой превышается в 5 % случаев.

Фоновая концентрация каждого вредного вещества устанавливается по данным наблюдений на стационарных и маршрутных постах, выполняющих наблюдения по одной из основных программ, а также под факелом промышленных предприятий на сети мониторинга или рассчитывается по формулам нормативных документов на основе данных о параметрах выбросов промышленных предприятий. Согласно РД 52.04.186-89, фоновые концентрации примесей определяются по данным наблюдений за пять лет. При отсутствии пятилетнего ряда разрешается определение фона по данным наблюдений менее 5, но не менее 3 лет.

Для городов, в которых не проводятся наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы, фоновая концентрация примеси, согласно РД 52.04.186-89, устанавливается по данным городов-аналогов. В табл. 1 приведены ориентировочные значения фона для городов с разной численностью населения. Эти значения рекомендуется использовать для города, где не проводятся наблюдения, если в данном городе не имеется крупных источников выбросов. При наличии таких источников фоновая концентрация примеси складывается из значения фона, полученного расчетным путем по параметрам данного источника, и ориентировочного значения фона.

**Таблица 1. Ориентировочные значения фоновой концентрации примесей для городов с разной численностью населения, мг/м<sup>3</sup> [6]**

Численность населения, тыс. жителей	Пыль	Диоксид серы	Диоксид азота	Оксид углерода
250–125	0,4	0,05	0,03	1,5
125–50	0,3	0,05	0,015	0,8
50–10	0,2	0,02	0,08	0,4
Менее 10	0	0	0	0

Подход, основанный на установлении городов-аналогов для определения фоновых концентраций загрязняющих веществ в городах, где не проводятся стационарные наблюдения, использовался до 2013 г. В 2013 г. введен в действие специальный технический кодекс уставившейся практики ТКП 17.13-05-2012 (02120) [8]. ТКП основан на иных принципах, о которых будет сказано ниже.

В РД-90 также описан порядок наблюдений за фоновым загрязнением атмосферы (региональным фоном), базирующийся на рекомендациях ВМО и Программы ЕМЕП. Фоновая концентрация (загрязнение) рассматривается как характеристика атмосферного воздуха территории, подвергающейся минимальному загрязнению либо загрязнению регионального уровня, что в целом соответствует общенаучному его пониманию.

Ряд других нормативных документов, принятых в Беларусь, предусматривает порядок использования фоновых концентраций. Все они опираются на методические подходы, описанные в РД-90. Так, согласно «Гигиеническим требованиям ...» (2009) [9], изменение установленных размеров санитарно-защитных зон (С33) осуществляется на основании расчетов прогнозируемых уровней максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ или групп загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации, определенных на основании расчета рассеивания загрязняющих веществ с учетом фоновых концентраций загрязняющих веществ на границе С33 и физических воздействий.

Согласно СанПиН 2.1.6.9-18-2002, материалы по охране атмосферного воздуха [7] должны содержать обоснование выбора района, пункта, площадки (трассы) для строительства, включая

особенности физико-географических и аэроклиматических условий, а также согласованные с органами государственного санитарного надзора данные о фоновом загрязнении атмосферного воздуха.

**Российская Федерация.** Согласно российскому законодательству, фоновые концентрации примесей – специальное понятие, предназначенное для использования в целях нормирования выбросов и установления ПДВ (ВСВ). Значения фоновых концентраций устанавливаются согласно нормативным документам на основе специальной обработки данных.

Фоновая концентрация вредного вещества (фон) является характеристикой загрязнения атмосферы, создаваемой всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории, исключая источник, для которого рассчитывается фон. За фоновую концентрацию принимается статистически достоверная максимальная разовая концентрация примеси (средняя за 20 мин), значение которой превышается в 5 % случаев.

В Российской Федерации для расчета фоновых концентраций используется «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» (1991). Также применяются периодически переиздаваемые *Временные рекомендации «Фоновые концентрации для городов и поселков, где отсутствуют наблюдения за загрязнением атмосферы»* [1].

Во Временных рекомендациях приведены фоновые концентрации восьми веществ для трех групп городов (табл. 2). В городах с населением менее 1 тыс. жителей фоновые концентрации принимаются равными нулю, если в радиусе 5 км не находится ни одного населенного пункта с большим числом жителей.

**Таблица 2. Значения фоновых концентраций примесей, мкг/м<sup>3</sup>, в городах с различной численностью населения, принятые в Российской Федерации [1]**

Численность населения, тыс. чел.	Взвешенные вещества	Азота диоксид	Азота оксид	Бенз(а)-пирен, нг/м <sup>3</sup>	Серы диоксид	Углерода оксид, мг/м <sup>3</sup>	Формальдегид	Сероводород
От 50 до 100	211	66	39	4,2	12	2,5	12	3
От 10 до 50	231	77	-	3,3	37	2,6	8	4
Менее 10	140	56	-	-	11	1,8	-	4

**Украина.** В Украине расчет фоновых концентраций регулируют «Государственные санитарные правила охраны атмосферного воздуха

(от химического и биологического загрязнения)» [2]. Данные правила используют для учета веществ, загрязняющих атмосферу, методику,

описанную в РД 52.04.186-89 и ОНД-86, ссылаясь на них в пункте 8.12. Эти правила действительны с июля 1997 г. по сегодняшний день.

**Казахстан.** В Казахстане используется нормативный документ РНД 211.2.01.01-97 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [5], основанный на ОНД-86; принципы расчета фоновых концентраций аналогичны российским.

Таким образом, в странах СНГ методическое обеспечение оценки фоновых концентраций за последние десятилетия существенно не изменилось и по-прежнему базируется на методических подходах, изложенных в РД-90.

## 2. Методы оценки фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в странах ЕС

В странах ЕС базовым документом по охране атмосферного воздуха является *Директива 2008/50/ЕС Европейского парламента и Совета «О качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки» от 21 мая 2008 г.* [14].

Согласно данной директиве, применяется единый подход к оценке качества атмосферного воздуха. Оценка качества атмосферного воздуха должна производиться с учетом численности населения и подверженных загрязнению воздуха экосистем.

Как и в предшествующей директиве 96/62/ЕС, в директиве 2008/50/ЕС широко используются понятия и термины, связанные с понятием «фон»: «фоновые уровни (фоновое содержание)» (background levels). Определение понятия «фоновое содержание», или «фоновое загрязнение», не приводится; в то же время дается определение понятия «городские фоновые местоположения (участки)» – urban background locations: районы в городской зоне, уровни (загрязнения) в которых репрезентативны для характеристики воздействия на все городское население.

Второе широко используемое понятие – сельские фоновые местоположения (участки) (rural background locations). Определение его также не приводится; согласно разъяснениям в статье 5, фоновые сельские местоположения должны быть расположены вдали от крупных источников загрязнения воздуха.

Согласно приложению III, места измерения городского фона располагаются таким образом, чтобы на уровень их загрязнения влияло взаимодействие всех источников, находящихся от станции в стороне, противоположной направлению ветра. Один источник не должен доминировать в уровне загрязнения над другими, если это не типичный случай для данной городской среды. Такие измерительные пункты должны отображать ситуацию в пределах нескольких квадратных километров. В местах измерения

уровня сельского фона на пункты измерения не влияет близость агломераций и промышленных площадок, расположенных на расстоянии ближе 5 км.

Приложение IV регулирует мониторинг сельского фона. Целью его является получение компетентной информации об уровне фонового загрязнения. Данная информация необходима для оценки роста уровня загрязнения на более загрязненных территориях (таких, как городской фон (фоновое загрязнение), промышленные территории, а также территории вокруг автострад); оценки возможного загрязнения от переноса загрязняющих веществ по воздуху на большие расстояния; анализа пропорционального распределения источников загрязнения и понимания специфики загрязняющих веществ, таких как твердые частицы, а также для моделирования переноса и рассеяния загрязняющих веществ на городских территориях.

Директивы 2008/50/ЕС содержит классификацию станций мониторинга по макромасштабным условиям размещения. Согласно приложению VIII, станции подразделяются на городские, пригородные, сельские, сельские фоновые. Более детальная классификация станций мониторинга содержится в Решении Совета 97/101/ЕС от 27 января 1997 года [12, 13]. Согласно этому классификатору, структурирована информация в БД AIRBASE.

Таким образом, основное назначение и ключевые признаки использования понятий, связанных с фондом в законодательстве ЕС, – репрезентативность для определенной территории (преимущественно на которой проживает значительная часть населения), исключение влияния крупных локальных источников загрязнения атмосферного воздуха. Так, согласно классификатору станций, приведенному в Директиве 2008/50/ЕС, фоновые станции – это станции, не относящиеся к промышленным и транспортным. Соответственно под данное определение подпадает значительная часть станций мониторинга. К примеру, из 35 тыс. станций, измеряющих содержание диоксида азота в Европе, информация которых содержится в БД AIRBASE, 20,6 тыс. относятся к категории «фоновые».

В целом можно сказать, что мониторинг атмосферного воздуха в соответствии с Директивой 2008/50/ЕС направлен на установление фоновых концентраций для последующего их сопоставления с предельными значениями. Характеристикой фоновой концентрации может быть как среднее значение, так и другие статические параметры, в частности 95-й процентиль.

В 2013 г. в Республике Беларусь введен в действие ТКП 17.13-05-2012 (02120) «Правила расчета фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, в которых отсутствуют стационар-

ные наблюдения» [8]. При подготовке данного документа был использован опыт мониторинга фоновых концентраций в странах ЕС. Данный ТКП предусматривает три варианта расчета фоновых концентраций в зависимости от наличия измерительной сети в населенном пункте.

Фоновая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенного пункта, в котором отсутствуют стационарные наблюдения, однако имеются передвижные пункты и маршрутные посты наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в рамках других программ, рассчитывается по формуле

$$C_{\phi i} = C_i \cdot k_i, \quad (1)$$

**Таблица 3. Значения коэффициента  $k_i$ , характеризующего зависимость фоновых концентраций загрязняющих веществ от средних концентраций в атмосферном воздухе городов Беларуси [8]**

Твердые частицы*	Углерода оксид	Серы диоксид	Азота диоксид	Сероводород	Фенол	Аммиак	Формальдегид
3,3	2,1	3,0	2,3	3,0	3,0	2,7	2,6

\* Недифференцированная по составу пыль/аэрозоль.

При отсутствии в населенном пункте передвижных пунктов и маршрутных постов наблюдений либо при отсутствии данных, удовлетворяющих указанным выше требованиям, фоновые концентрации в атмосферном воздухе населенного пункта для загрязняющего вещества  $i$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) рассчитываются по формуле

$$C_{\phi i} = C_{fi} \cdot d_i, \quad (2)$$

где  $C_{fi}$  – средняя концентрация загрязняющего вещества  $i$  в атмосферном воздухе за предшествующие 3 года по данным наблюдений на передвижных пунктах и маршрутных постах,  $\text{мкг}/\text{м}^3$ ;  $d_i$  – поправочный безразмерный коэффициент, характеризующий зависимость фоновой концентрации загрязняющего вещества  $i$  от средней концентрации данного загрязняющего вещества в атмосферном воздухе городов Беларуси за предшествующие 3 года по данным стационарных наблюдений на пунктах НСМОС. Ориентировочные значения  $d_i$ , полученные на основании анализа рядов измерений за 5 лет, приведены в табл. 3.

**Таблица 4. Значения коэффициента  $d_i$ , характеризующего отношение среднего содержания загрязняющего вещества в атмосферном воздухе от категории населенного пункта [8]**

Категория населенного пункта	Твердые частицы*	Серы диоксид	Азота диоксид	Углерода оксид	Бензол	Аммиак
Города с населением более 100 тыс. чел	1	1	1	1	1	1
Города с населением от 10 до 100 тыс. чел	0,80	0,90	0,75	0,80	0,70	1
Города и поселки городского типа до 10 тыс. чел	0,65	0,80	0,60	0,65	0,55	1,1
Сельские населенные пункты	0,59	0,69	0,48	0,53	0,47	1,2

\* Недифференцированная по составу пыль/аэрозоль.

Приведенные в таблице поправочные коэффициенты получены путем анализа результатов мониторинга загрязняющих веществ в атмосферном воздухе стран Европы на станциях различных типов по данным БД AIRBASE [10, 11] (рис. 1–3). При этом было принято, что сельские станции характеризуют уровень загрязнения атмосферного воздуха в сельских населенных пунктах, пригородные – в городах и поселках городского типа с населением до 10 тыс. человек, городские фоновые – в городах с населением более 100 тыс. человек.

Согласно данным AIRBASE, среднее по Европе соотношение содержания диоксида азота в атмосферном воздухе на сельских, пригород-

ных и городских станциях составляет 1:1,87:2,53. Наибольшие контрасты характерны для Норвегии (1:31,4:40,1), Болгарии (1:6,16:7,02); в Польше это соотношение составляет 1:1,55:2,54.

Среднее соотношение содержания диоксида азота на фоновых, промышленных и транспортных станциях составляет 1:0,94:1,98; в Польше это соотношение равно 1:0,76:2,05. Наибольшие контрасты характерны для Норвегии (1:0,7:3,38), Люксембурга (1:2,93:5,84). Примечательно то, что загрязнение атмосферного воздуха диоксидом азота, фиксируемое промышленными станциями, в среднем ниже, чем на фоновых станциях.

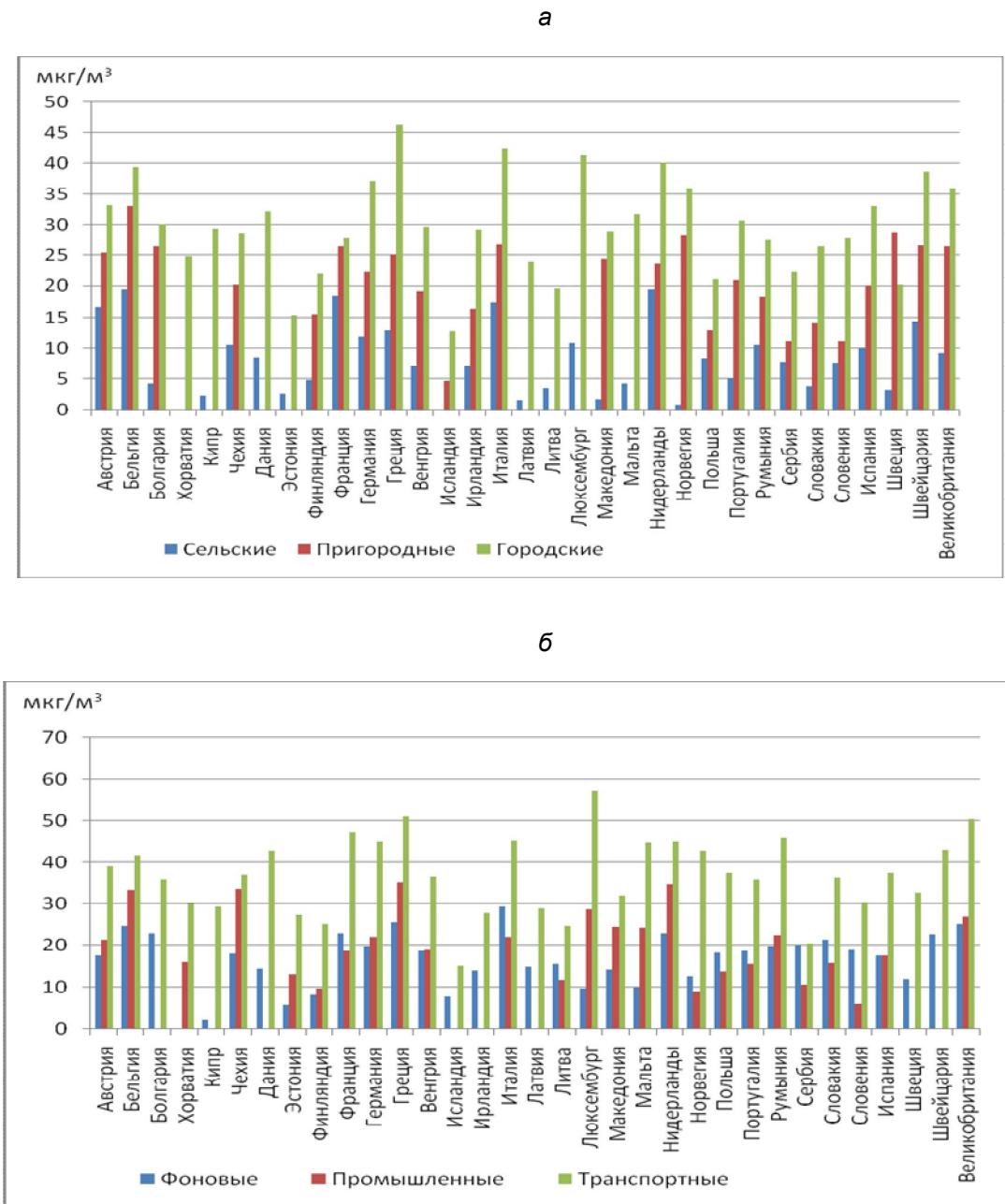


Рис. 1. Средняя концентрация диоксида азота в атмосферном воздухе стран Европы по типам станций (а) и типам местоположения станций (б) [10]

Среднее по Европе соотношение содержания оксида углерода в атмосферном воздухе на сельских, пригородных и городских станциях составляет 1:1,35:1,90. Наибольшие контрасты характерны для Словении (1:3,56:3,39). В Польше это соотношение составляет 1:1,34:1,66.

Среднее соотношение содержания оксида углерода на фоновых, промышленных и транспортных станциях составляет 1:1,07:1,59; в Польше это соотношение 1:0,85:1,79. Наибольшие контрасты характерны для Финляндии (на транспортных станциях среднее содержание оксида углерода в 4,33 раза выше, чем на фоновых).

Среднее по Европе соотношение содержания ВЧ10 в атмосферном воздухе на сельских, пригородных и городских станциях составляет 1:1,3:1,48. Наибольшие контрасты характерны для Норвегии (1:3,12:3,38). В Польше это соотношение составляет 1:1,35:1,62.

Среднее соотношение содержания ВЧ10 в атмосферном воздухе на фоновых, промышленных и транспортных станциях составляет 1:1,07:1,17; в Польше это соотношение составляет 1:0,75:1,19. Наибольшая контрастность характерна для Македонии (1:3,0:3,16).

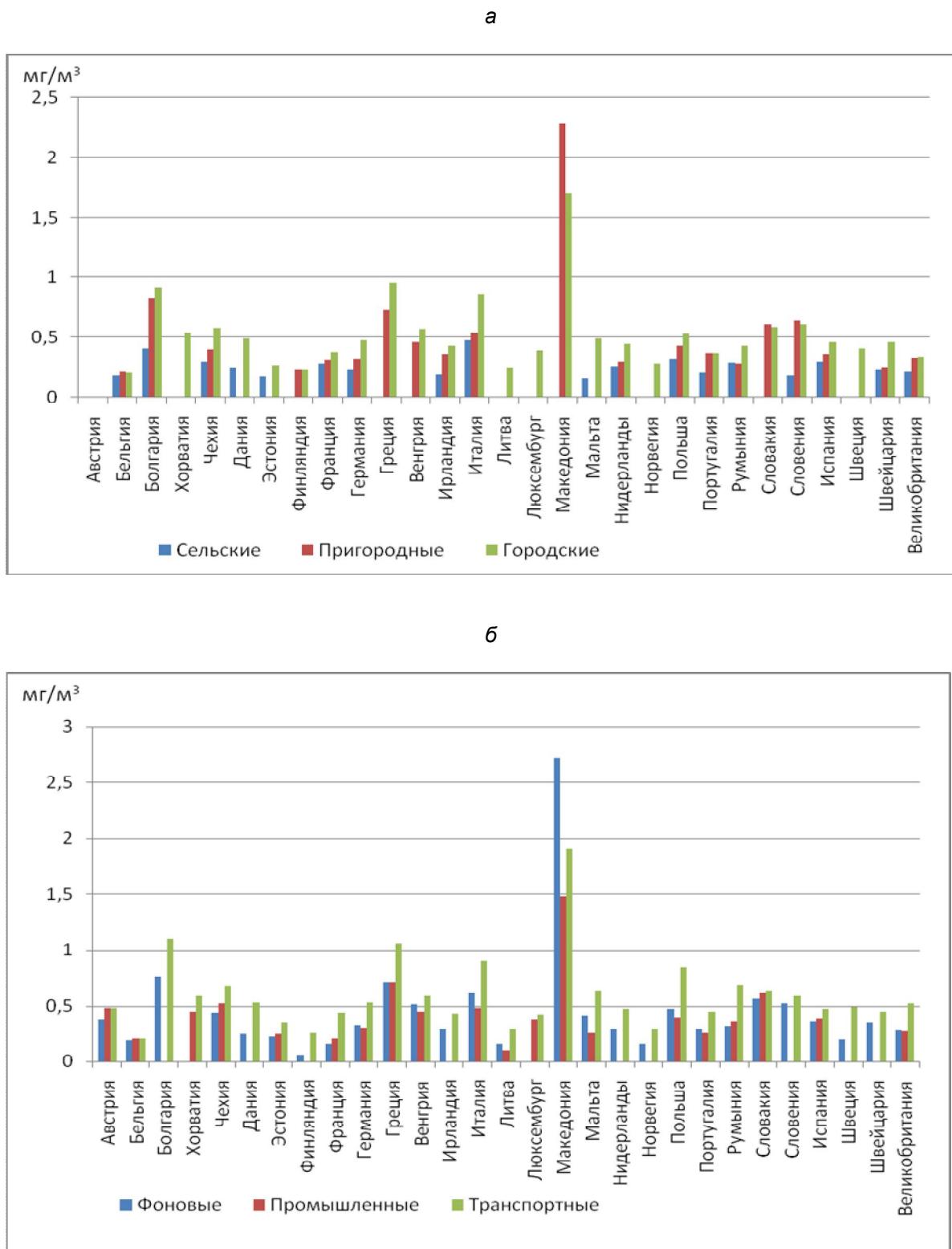


Рис. 2 Средняя концентрация оксида углерода в атмосферном воздухе стран Европы по типам станций (а) и типам местоположения станций (б) [10]

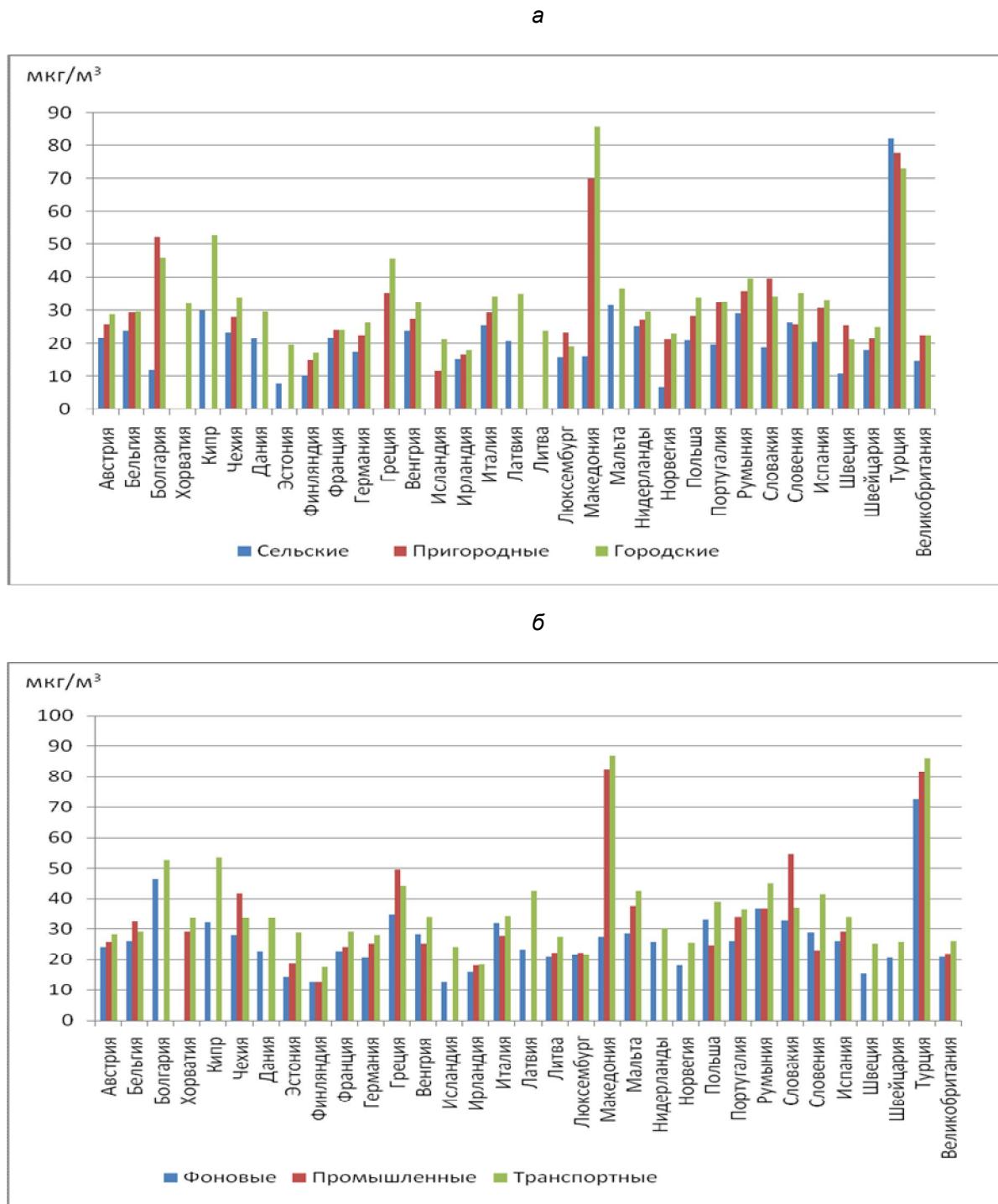


Рис. 3. Средняя концентрация ВЧ10 в атмосферном воздухе стран Европы по типам станций (а) и типам местоположения станций (б) [10]

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, наблюдения за которыми в Беларуси не проводятся (в частности, стойких органических загрязнителей – диоксинов/фуранов, полихлорированных бифенилов и некоторых других соединений), предложено оценивать по данным расчетов территориально распределенных среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на территории Беларуси по Программе ЕМЕП, а

также по другим международным программам. Это позволит существенно расширить перечень нормируемых веществ в выбросах.

Таким образом, можно наметить три методологических подхода к оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, обусловленных в первую очередь различиями в областях применения.

В первом понимании данное понятие используется для характеристики содержания за-

грязняющих веществ в атмосферном воздухе территорий, подвергающихся минимальному воздействию источников выбросов (т. е. первичным для определения фоновой концентрации является территория, на которой оно наблюдается либо предполагается, что должно наблюдаться). На этом понимании базируются фоновый мониторинг атмосферного воздуха и те сферы науки и практики, которые используют его результаты, в частности, моделирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ в рамках Программы ЕМЕП. Этот подход используется как в странах СНГ, так и в других странах при проведении комплексного фонового мониторинга в рамках национальных и международных программ.

Второй подход, реализованный в законодательстве ЕС, в качестве ключевых признаков фоновой концентрации (местоположения) рассматривает ее репрезентативность для определенной достаточно большой территории, а также отсутствие влияния крупных локальных источников загрязнения атмосферы. Характеристикой фоновой концентрации может быть как среднее значение, так и другие статические параметры, в частности, 95-й процентиль. Принципиально этот подход близок первому, но предусматривает несколько более широкое понимание рассматриваемого термина.

Третий подход, применяемый в странах СНГ (в том числе и в Беларусь), рассматривает фоновую концентрацию как характеристику за-

грязнения атмосферы, создаваемого всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории, исключая источник, для которого определяется фоновая концентрация. В таком понимании данное понятие используется для целей нормирования выбросов в соответствии с особенностями методических походов и моделей расчета рассеяния выбросов загрязняющих веществ, унаследованных от СССР [4]. Соответственно с переходом на другие системы нормирования выбросов оно может быть существенно пересмотрено. Методические подходы к оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в населенных пунктах, где не проводятся стационарные наблюдения, предполагающие использование для этих целей результатов мониторинга в Европе и реализованные в ТКП 17.13-05-2012 (02120), являются первым шагом в этом направлении.

С учетом происходящих процессов гармонизации методологий оценки и нормирования воздействий на атмосферный воздух, роста озабоченности глобальными и региональными изменениями природной среды внимание к фоновым концентрациям, их мониторингу и оценке будет возрастать. Вероятно, в связи с этим целесообразно расширение сети фонового мониторинга, в том числе организация мониторинга воздушной среды в сельской местности (сельский фон).

## Литература

1. **Временные** рекомендации «Фоновые концентрации для городов и поселков, где отсутствуют наблюдения за загрязнением атмосферы на период 2009-2013 гг. – СПб., 2009.
2. **Государственные** санитарные правила охраны атмосферного воздуха (от химического и биологического загрязнения). – Киев, 1997.
3. **Закон** Республики Беларусь от 16 декабря 2008 г. «Об охране атмосферного воздуха».
4. **Методика** расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86. – Л., 1987.
5. **РНД 211.2.01.01-97** «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». 1997.
6. **Руководство** по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. – Госкомгидромет СССР, 1991. – Ч. I и II.
7. **СанПиН 2.1.6.9-18-2002**. Гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных пунктов.
8. **ТКП 17.13-05-2012 (02120)** Правила расчета фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, в которых отсутствуют стационарные наблюдения.
9. **Санитарные** нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду». Постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 30.06.2009, № 78.
10. **AirBase database**. <http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase>.
11. **AirBase** version 2 data products on EEA data service. A short technical description. Hermann Peifer, EEA, April 2008.
12. **Commission** Decision of 17 October 2001 amending the Annexes to Council Decision 97/101/EC establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member States (2001/752/EC).
13. **Council** Decision of 27 January 1997 establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. States 97/101/EC.

14. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.

## Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 30.09.2014 г.

**C. V. Kakareka**

### **ОЦЕНКА ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ**

Статья посвящена сравнительному анализу методических подходов к оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, используемых в Беларуси, странах СНГ и ЕС. Показано, что различия в используемых подходах обусловлены в первую очередь различиями в областях их применения.

В первом понимании данное понятие используется для характеристики содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе территории, подвергающихся минимальному воздействию источников выбросов. На этом понимании базируются фоновый мониторинг атмосферного воздуха и те сферы науки и практики, которые используют его результаты, в частности моделирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ рамках Программы ЕМЕП.

Второй подход, реализованный, в частности, в законодательстве ЕС, в качестве ключевых признаков фоновой концентрации (местоположения) рассматривает ее представительность для определенной достаточно большой территории, а также отсутствие влияния крупных локальных источников загрязнения атмосферы.

Третий подход, применяемый в странах СНГ (в том числе и в Беларуси), рассматривает фоновую концентрацию как характеристику загрязнения атмосферы, созданного всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории, исключая источник, для которого определяется фоновая концентрация. В таком понимании данное понятие используется для целей нормирования выбросов в соответствии с особенностями методических походов и моделей расчета рассеяния выбросов загрязняющих веществ, унаследованных от СССР. Соответственно с переходом на другие системы нормирования выбросов оно может быть пересмотрено. Методические подходы к оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в населенных пунктах, где не проводятся стационарные наблюдения, предполагающие использование для этих целей результатов мониторинга в Европе и реализованные в ТКП 17.13-05-2012 (02120) и описанные в статье, являются первым шагом в этом направлении.

**S. V. Kakareka**

### **THE EVALUATION OF BACKGROUND CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS IN ATMOSPHERIC AIR: METHODOICAL APPROACHES**

The article is devoted to the comparative analysis of methodological approaches to the assessment of background concentrations of pollutants in ambient air used in Belarus, CIS and EU countries. It has been shown that the differences in the used approaches are due primarily to differences in their application.

In the first sense, this term is used to describe the content of pollutants in ambient air of territories exposed to minimal impact of emission sources. On this background understanding of air monitoring and the spheres of science and practice are based, which use the results, in particular modeling of transport and dispersion of pollutants within the EMEP program.

The second approach which has been implemented, particularly in the EU legislation, as key features of the background concentration (location) is considering its representativeness for a specific territory which is large enough, and the lack of influence of major local sources of air pollution.

The third approach used in the CIS countries (including Belarus), examines the background concentration as a characteristic of air pollution generated by all sources of emissions on considered territory, excluding the source for which the background concentration is determined. In this sense, this term is used for the purposes of regulation of emissions in accordance with the methodological features and models for calculating the dispersion of pollutant substances, which have been inherited from the USSR. Accordingly, the transition to other systems of rationing of emissions it may be revised. Methodological approaches to the evaluation of the background concentrations of pollutants in the localities where stationary observations are not held, intended use for these purposes, the results of monitoring in Europe and implemented in TAP 17.13-05-2012 (02120) and described in the article, are the first step in this direction.

**Е. П. Овчарова, О. В. Кадацкая**

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Рассматриваются подходы к выделению критерииев для установления необходимости реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях. В качестве основных критериев предложены степень техногенной гидроморфологической трансформации водного объекта, превышение ассимиляционного потенциала и уровень рекреационной значимости. Выделены первичные индикаторы гидрохимической трансформации водного объекта (биогенные вещества, хлориды и нефтепродукты) и предложены шкалы для определения ее степени. С использованием выделенных критериев проведена группировка водных объектов на территории г. Минска по необходимости их реабилитации.*

Важнейшим элементом городской среды являются, как известно, водные объекты, во многом определяющие эстетическую привлекательность урбанизированной территории, а их состояние является одним из показателей экологического благополучия города. В то же время водные объекты испытывают здесь значительную антропогенную нагрузку, что приводит, как правило, к изменению естественной гидрографической сети (пересыханию малых рек или переходу их в режим временного функционирования) и загрязнению поверхностных вод.

Вместе с тем на урбанизированных территориях имеет место и усложнение гидрографической сети в результате создания искусственных водных объектов (водохранилищ, декоративных прудов, прудов-отстойников, прудов-регуляторов, пожарных прудов и т. д.), предназначенных для выполнения определенных функций (обеспечения водой ТЭЦ, благоустройства и рекреации).

Иногда в условиях города водный объект, созданный для технологических целей, с течением времени может приобрести дополнительные функции (рекреационную, природоохранную и т. д.). Примером может служить Чижовское водохранилище (г. Минск), которое снабжает технической водой Минскую ТЭЦ-3 и 16 предприятий города. Несмотря на то, что оно не пригодно для рекреационных целей (содержание в иле бензо(а)пирена, фенолов и тяжелых металлов может превышать ПДК в десятки раз), население города здесь купается и ловит рыбу [10]. Следовательно, возникает необходимость корректировки использования водохранилища: планируется его перевести из технического водного объекта в культурно-бытовой.

Еще одним примером изменения функционального назначения водного объекта может служить пруд Лебяжий, образовавшийся на месте выработанного торфяного месторождения, который стал местом обитания ценных популяций водоплавающих и болотных птиц, что послужило основанием для организации здесь в 1984 г. биологического заказника «Лебяжий». Со

временем территория города увеличилась, и в настоящий момент это единственный в нашей стране заказник государственного значения, расположенный непосредственно в черте города.

Как естественные, так и искусственные водные объекты на урбанизированной территории должны отвечать определенным требованиям: это, во-первых, соответствие качества воды нормативам, утвержденным для различных видов водопользования, и, во-вторых, удовлетворение эстетическим и социально-психологическим потребностям городского населения.

Значительный антропогенный пресс как в пределах урбанизированного водосбора, так и непосредственно на водный объект приводит к превышению его ассимиляционного потенциала, емкость которого определяется способностью водотока или водоема к естественному самоочищению, которое, в свою очередь, зависит от гидрологических и биохимических процессов. Поскольку интенсивность естественных процессов самоочищения в ряде случаев несравнима с объемом поступающих в водоемы и водотоки химических веществ, наблюдается их загрязнение.

Типичными причинами, вызывающими загрязнения водных объектов на урбанизированных территориях, являются:

недостаточное обустройство систем ливневой канализации;

образование на территории городов несанкционированных свалок;

наличие вблизи водоемов кварталов с преобладанием частного сектора, не обеспеченного централизованным теплоснабжением и канализацией;

недостаточное решение проблем вывозки и размещения снега с улиц и площадей города;

функционирование в городе объектов, производящих сбросы загрязняющих веществ;

недостаточная эффективность систем очистки сточных вод.

В результате многие реки, водохранилища и пруды в городах находятся в таком состоянии, когда возникает необходимость их инженерно-

экологического обустройства, направленного на их реабилитацию [1].

Под реабилитацией водного объекта следует понимать достижение путем проведения системы целенаправленных мероприятий такого состояния водоема или водотока, при котором водный объект удовлетворяет требованиям формирования нормального гидрологического и гидрохимического режимов, а также выполняет свои функции без ущерба для самого требовательного к качеству и количеству водных ресурсов вида водопользования.

В качестве геоэкологических критериев для оценки необходимости реабилитации водных объектов, предложены:

степень техногенной трансформации водного объекта (современное гидроморфологическое состояние);

превышение ассимиляционного потенциала; уровень рекреационной значимости.

Предлагаемый подход к выделению геоэкологических критериев позволяет сделать предварительный общий вывод по поводу необходимости реабилитации водного объекта на городской территории. Дальнейшие выводы должны опираться на достоверные параметры (гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и микробиологические) и детальную характеристику водосбора [1].

**Степень техногенной трансформации водного объекта.** Одним из показателей трансформации естественных водных объектов на территории города является характер их гидроморфологических изменений, от которых зависит способность водотока или водоема выполнять свои природные функции. Часто на территории города даже сохранившиеся водные объекты теряют свои природные берега (облицованы камнем и бетоном), имеют зарегулированный сток, исключающий весенние и осенние половодья и летнюю и зимнюю межени, что приводит к нарушению режима, накоплению донных осадков с вредными примесями и в конечном итоге к прекращению нормальных процессов жизнедеятельности водных организмов [7].

Для целей реабилитации по критерию техногенной трансформации выделяются три класса водных объектов:

полностью утраченные (не подлежат восстановлению);

временно утраченные (возможно восстановление ввиду ценности водного объекта);

сохранившиеся (с разной степенью гидрологоморфологических изменений).

Примером полностью утраченного водного объекта в Минске может служить ручей Дражня (левый приток Свислочи), который пересох в результате эксплуатации водозабора подземных вод и городской застройки. Его природные функции по сбору поверхностного стока выполняет в настоящее время дождевой коллектор «Дражня».

Аналогичная ситуация характерна для ручья Перспы (левый приток Свислочи). В настоящее время от верховья ручья сохранились следы канализированного русла. В 1975 г. он был заключен в подземный дождевой коллектор «Комаровский» (в среднем течении). Рядом с устьем находится 150-метровый водосток, который заканчивается входом в коллектор.

Примером временно утраченного водного объекта является исторически ценный водоток – река Немига (Минск), который в настоящее время заключен в подземный коллектор, а русло засыпано и фрагментарно сохранившийся водоток – река Лошица (Минск) в виде нескольких отдельных водоемов, ранее представлявших единый водный объект. Реабилитация таких объектов может быть полной (восстановление водотока) либо частичной (только для оставшихся отдельных изолированных фрагментов).

Что касается сохранившихся водотоков и водоемов на урбанизированной территории, то возникает вопрос и о сохранении способности данных объектов к самоочищению в таких условиях. Если природный объект в условиях города сохранил эту способность, он нуждается в охране, под которой подразумевается разработка и осуществление мероприятий, обеспечивающих соблюдение установленного регламента хозяйственной деятельности на водных объектах. Если ассимиляционный потенциал превышен, вследствие чего наблюдается гидрохимическая трансформация и загрязнение водного объекта, он нуждается в реабилитации.

**Превышение ассимиляционного потенциала водного объекта.** Для оценки превышения ассимиляционного потенциала водного объекта из всего перечня гидрохимических показателей наиболее информативным в условиях города, на наш взгляд, является содержание биогенных веществ, хлоридов и нефтепродукты в поверхностных водах. Увеличение концентрации в поверхностных водах данных веществ на урбанизированной территории отмечают и ряд других авторов [2, 4, 5, 8, 9]. Биогенные вещества отражают уровень нагрузки на водный объект за счет сточных вод или поверхностного стока с городской территорией, а также рекреации. Хлориды и нефтепродукты указывают главным образом на поступление поверхностного стока. Перечисленные вещества, несомненно, являются не единственными загрязнителями водных объектов на городской территории. Так, например, с поверхностным стоком в водоемы или водотоки могут поступать тяжелые металлы, полихлорированные ароматические углеводороды (ПАУ), взвешенные вещества и т. д. Однако если для водного объекта характерно высокое содержание хлоридов и нефтепродуктов из-за поступления поверхностного стока, то, как правило, его вода и донные отложения будут загрязнены и другими перечисленными выше веществами [6].

В качестве первичных индикаторов для оценки гидрохимической трансформации выбраны следующие показатели: содержание биогенных веществ, содержание хлоридов и содержание нефтепродуктов.

Исходя из анализа данных, нами предложена следующая градация степени гидрохимической трансформации водного объекта по указанным индикаторам и соответствующая ей бальная оценка: слабая (1 балл), средняя (2 балла), сильная (3 балла) и очень сильная (4 балла).

Так, слабая и средняя степени трансформации водного объекта позволяют ему сохранять способность к самоочищению (ассимиляционный потенциал не превышен). Сильная и очень сильная степени гидрохимической трансформации свидетельствуют о превышении ассимиляционного потенциала и, следовательно, о загрязнении. Если сумма по пяти индикаторам (азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор фосфатный и хлориды) превышает 10 баллов, можно говорить о превышении ассимиляционного потенциала и необходимости реабилитации или реконструкции водного объекта.

**Таблица 1. Шкала для определения степени гидрохимической трансформации водных объектов**

Оценка, балл	Азот аммонийный, мг N/дм <sup>3</sup>	Азот нитритный, мг N/дм <sup>3</sup>	Азот нитратный, мг N/дм <sup>3</sup>	Фосфор фосфатный, мг P/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>
1	< 0,195	< 0,012	< 0,50	< 0,033	< 15,0
2	0,196–0,390	0,013–0,024	0,51–1,00	0,034–0,066	15,1–30,0
3	0,391–0,780	0,025–0,048	1,1–2,0	0,067–0,132	30,1–60,0
4	> 0,781	> 0,049	> 2,1	> 0,133	> 60,1

Что касается нефтепродуктов, то в идеале их не должно содержаться в воде водоемов и водотоков. В крайнем случае их содержание не должно превышать 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения).

Как отмечено выше, перечисленные первичные индикаторы гидрохимической трансформации не являются исчерпывающими при разработке проекта реабилитации водного объекта. Так, для любого проекта такого рода требуется проведение более углубленных исследований с определением большого спектра биологических, гидрохимических, санитарно-гигиенических показателей.

В качестве примера на основании данных Национальной системы мониторинга за 2010–2012 гг. представлена бальная оценка гидрохимической трансформации водных объектов города Минска по первичным индикаторам (табл. 2). Как видно из табл. 2, из указанных водных объектов, ассимиляционный потенциал превышен у вдхр Лошица, р. Лошицы и р. Свислочи ниже по течению от моста по ул. Октябрьской.

**Уровень рекреационной значимости водного объекта.** Следующим критерием, определяющим необходимость реабилитации

Для индикаторов, для которых в городских условиях наблюдаются превышения ПДК (азот аммонийный, азот нитритный и фосфор фосфатный), свидетельствующие о загрязнении водного объекта, предложена следующая шкала: 1 балл – < 0,5 ПДК; 2 балла – 0,5–1 ПДК; 3 балла – 1–2 ПДК и 4 балла – > 2 ПДК.

Для индикаторов, для которых в городских условиях, как правило, не наблюдается превышения ПДК (азот нитратный и хлориды), однако отмечается рост их содержания в зависимости от уровня антропогенной нагрузки, предложена следующая шкала: 1 балл – < 0,05 ПДК; 2 балла – 0,05–0,1 ПДК; 3 балла – 0,1–0,2 ПДК и 4 балла – > 0,2 ПДК.

В основу градации по азоту нитратному положена величина 0,5 мг N/дм<sup>3</sup>, являющаяся пороговой для начала процессов эвтрофикации [3], по хлоридам – природно-антропогенная концентрация 15,0 мг/дм<sup>3</sup> [4].

В табл. 1 для указанных первичных индикаторов приведены шкалы для определения степени гидрохимической трансформации водных объектов.

водного объекта на городской территории, является его рекреационная значимость.

Под этим понятием подразумевается не только степень соответствия водного объекта санитарно-гигиеническим нормам, допускающим пребывание на нем людей, но и способность данного объекта удовлетворять эстетическим, видеозэкологическим и социально-психологическим потребностям городского населения [1].

По данному критерию можно выделить три класса водных объектов: незначимые, малозначимые и значимые. Рекреационно-незначимые водные объекты – объекты, берега которых не используются населением в качестве мест отдыха. Рекреационно-малозначимые водные объекты – городские водоемы и водотоки, которые из-за плохого экологического и санитарно-гигиенического состояния не могут использоваться для организации рекреационных зон, но население использует их прибрежную зону и (или) сам водный объект как место отдыха. Рекреационно-значимые водные объекты – городские водоемы и водотоки, находящиеся в удовлетворительном экологическом и санитарно-гигиеническом состоянии и используются населением в рекреационных целях [1].

В зависимости от комбинации классов водных объектов по техногенной трансформации, рекреационной значимости и способности выполнять свои природные функции возможно проведение нескольких видов инженерно-экологических мероприятий (реабилитация, охрана, ликвидация, реконструкция и т. д.).

На основании предложенного подхода и изложенного выше материала проведена группировка водных объектов на территории города Минска по необходимости их реабилитации (табл. 3).

**Таблица 2. Балльная оценка степени гидрохимической трансформации водных объектов Минска**

Водный объект	Азот аммонийный	Азот нитрит-ный	Азот нитрат-ный	Фосфор фосфатов	Хлориды	Сумма баллов	Ассимиляционный потенциал
Вдхр Дрозды	2	2	2	1	2	9	Не превышен
Оз. Комсомольское	2	2	2	2	2	10	>>
Вдхр Лошица	3	3	2	2	3	13	Превышен
Р. Лошица в черте города	3	3	2	2	2	12	>>
Р. Свислочь выше города, н.п. Дрозды	2	2	2	1	2	9	Не превышен
Р. Свислочь от н.п. Дрозды до ул. Октябрьской	2	2	2	1	2	9	>>
Р. Свислочь от ул. Октябрьской до н.п. Подлесье	2	3	2	2	2	11	Превышен
Р. Свислочь от н.п. Подлесье до н.п. Королищевичи	2	3	3	1	3	12	>>
Р. Свислочь ниже сброса МСА, н.п. Королищевичи	4	4	4	4	3	15	>>

**Таблица 3. Группировка водных объектов Минска по необходимости реабилитации**

Водный объект	Функциональное назначение	Способность водного объекта выполнять свои функции (природные или технологические)	Уровень рекреационной значимости	Необходимые мероприятия
Р. Мышка	Природно-рекреационное	Не сохранил способность к самоочищению	Малозначимый	Нуждается в реабилитации
Р. Лошица	То же	Временно утрачена	>>	То же
Вдхр Лошица	>>	Не сохранил способность к самоочищению	>>	>>
Р. Цна	>>	То же	>>	>>
Р. Немига	>>	Временно утрачена	-	Нуждается в полной реабилитации
Ручей Переспа	>>	Полностью утрачена	-	Реабилитация невозможна
Р. Слепянка	>>	Трансформирован в Слепянскую водную систему	-	Нуждается в реконструкции
Ручей Дражня	>>	Полностью утрачена	-	Реабилитация невозможна
Р. Тростянка	>>	Временно утрачена	Малозначимый	Нуждается в реабилитации
Вдхр Дрозды	>>	Сохранил способность к самоочищению	Значимый	Нуждается в охране
Пруд Лебяжий	>>	Не сохранил способность к самоочищению	Охраняемый природный объект	Нуждается в реабилитации
Оз. Комсомольское	>>	Сохранил способность к самоочищению	Значимый	Нуждается в охране
Р. Свислочь выше н.п. Дрозды	>>	То же	>>	То же
Р. Свислочь от н.п. Дрозды до ул. Октябрьской	>>	>>	>>	>>
Р. Свислочь от ул. Октябрьской до н.п. Подлесье	>>	Не сохранила способность к самоочищению	>>	Нуждается в реабилитации

**Окончание табл. 2**

Водный объект	Функциональное назначение	Способность водного объекта выполнять свои функции (природные или технологические)	Уровень рекреационной значимости	Необходимые мероприятия
Р. Свислочь от н.п. Подлосье до н.п. Королищевичи	>>	То же	>>	То же
Р. Свислочь ниже сброса МСА	>>	>>	>>	>>
Вдхр Чижовское	Технологическое, приобретает рекреационную значимость	–	Малозначимый	Нуждается в реконструкции / реабилитации
Водоем между ул. Рафиева и Есенина	Природно-рекреационное	Не сохранил способность к самоочищению	>>	Нуждается в реабилитации
Водоем между ул. Лобанка и Мазурова	То же	То же	>>	То же

Предложенный подход к группировке водных объектов по необходимости их реабилитации может использоваться на этапе предварительной оценки ситуации. Для принятия решения о возможности и способе реабилитации конкретного водного объекта следует провести более детальные исследования с оценкой степени его техногенной трансформации, соответствия качества воды принятым нормативам, состояния водных экосистем, степени трансформации водосбора и благоустроенности, типа источников загрязнения и др. От суммарной оценки будет зависеть выбор способа реабилитации водного объекта.

Не следует забывать о том, что экономический аспект в вопросах реабилитации водных объектов очень важен, так как наиболее эффективными, как правило, являются дорогостоящие мероприятия, например ликвидация выпусков поверхностного стока в черте города и переброска его ниже города со строительством прудов-очистителей и биоплато.

Таким образом, в качестве геоэкологических критериев для установления необходимости реабилитации водных объектов на городской территории приняты степень техногенной гидроморфологической трансформации водного объекта, превышение ассимиляционного потенциала и уровень рекреационной значимости.

Для оценки превышения ассимиляционного потенциала водного объекта из всего перечня гидрохимических показателей выбраны биогенные вещества, хлориды и нефтепродукты как наиболее информативные в условиях города.

Предложены шкалы градации степени гидрохимической трансформации водного объекта по первичным индикаторам (азоту аммонийному, азоту нитритному, азоту нитратному, фосфору фосфатному и хлоридам): слабая (1 балл), средняя (2 балла), сильная (3 балла) и очень сильная (4 балла). Слабая и средняя степени трансформации водного объекта позволяют ему сохранять способность к самоочищению (ассимиляционный потенциал не превышен). Сильная и очень сильная степени гидрохимической трансформации свидетельствуют о превышении ассимиляционного потенциала и, следовательно, о загрязнении. Если сумма по пяти индикаторам (азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор фосфатный и хлориды) превышает 10 баллов, можно говорить о превышении ассимиляционного потенциала и необходимости реабилитации или реконструкции водного объекта.

В зависимости от комбинации классов водных объектов по рекреационной значимости и способности выполнять свои природные функции проведена группировка водных объектов на территории города Минска по необходимости их реабилитации.

### Литература

1. **Власов, В. А.** Экологическое состояние городских водных объектов и их рекреационная значимость / В. А. Власов, В. И. Сметанин // Междунар. конгресс и выставка ВЭИСТЭК-2007. Май 2007 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://msuee.ru/scince/1/sb-07\\_1\\_42.html](http://msuee.ru/scince/1/sb-07_1_42.html).
2. **Денмухаметов, Р. Р.** Антропогенное усиление химической денудации и увеличение стока растворенных веществ рек / Р. Р. Денмухаметов // Проблемы экологической геоморфологии. – Белгород, 2000. – С. 132–133.
3. **Комплексная** экологическая классификация поверхностных вод суши / О. П. Оксюк [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–72.

4. **Ландшафтные** воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. – Минск, 2005.
5. **Максимова, М. П.** Антропогенные изменения ионного стока крупных рек Советского Союза / М. П. Максимова // Водные ресурсы. – 1991. – № 5. – С. 65–69.
6. **Овчарова, Е. П.** Эколого-geoхимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере Минска) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36. – Минск, 2006.
7. **Политова, Н. В.** Использование инструмента инженерно-геологического районирования для разработки мероприятий по восстановлению естественной гидросети мегаполисов / Н. В. Политова, Ю. В. Кириченко // Науч. вестник Моск. гос. горногорн. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 35–40.
8. **Янин, Е. П.** Изменение химического состава и техногенная метаморфизация речных вод в промышленно-урбанизированных районах / Е. П. Янин // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2006. – № 3. – С. 2–27.
9. **Янин, Е. П.** Трансформация гидрохимического облика малых водотоков и водоемов в антропогенных ландшафтах / Е. П. Янин // Методы исследования антропогенных ландшафтов. – Л., 1982. – С. 98–99.
10. <http://www.vminsksk.by/news/30/11796/>.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 29.09.2014 г.

**E. P. Овчарова, O. V. Кадацкая**

### **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Рассматриваются подходы к выделению критериев для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях. В качестве основных критериев предложены степень техногенной гидроморфологической трансформации водного объекта, превышение ассимиляционного потенциала и уровень рекреационной значимости.

Выделены первичные индикаторы гидрохимической трансформации водного объекта (биогенные вещества, хлориды и нефтепродукты) и предложены шкалы для определения ее степени. Слабая и средняя степени трансформации водного объекта позволяют ему сохранять способность к самоочищению (ассимиляционный потенциал не превышен). Сильная и очень сильная степени гидрохимической трансформации свидетельствуют о превышении ассимиляционного потенциала и, следовательно, о загрязнении. Если сумма по пяти индикаторам (азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор фосфатный и хлориды) превышает 10 баллов, можно говорить о превышении ассимиляционного потенциала и необходимости реабилитации или реконструкции водного объекта.

С использованием выделенных критериев проведена группировка водных объектов на территории г. Минска по необходимости их реабилитации.

**A. P. Aucharova, O. V. Kadatskaya**

### **GEOECOLOGY CRITERIA FOR WATER BODIES REHABILITATION ON URBAN AREAS**

The approaches to the selection of the criteria of necessity for the water body rehabilitation on urban areas are discussed. Degree of anthropogenic transformation of the water body, the excess of the assimilation capacity and the level of recreational value as the main are proposed.

The primary indicators of hydrochemical transformation of the water body (nutrients, chlorides and oil products) are proposed and the scale of the hydrochemical transformation rank is determined. Weak and medium rank of the hydrochemical transformation of the water body allows to save the self-purification ability (assimilation capacity is not exceeded). Strong and very strong rank of the hydrochemical transformation indicates the exceeding of assimilation capacity and therefore on pollution. If the sum of 5 indicators (ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, phosphate phosphorus and chloride) is more than 10 points, we can say about the exceeding of the assimilation capacity and the needing of rehabilitation or reconstruction of the water body.

Using selected criteria the group of water bodies on Minsk area in terms of necessity for their rehabilitation is performed.

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМА УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД БОЛОТА ЕЛЬНЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ

Приведены результаты анализа изменений уровня грунтовых вод, зафиксированные десятью автоматическими датчиками на участках болота Ельня разной степени нарушенности, с целью разработки и реализации мероприятий по восстановлению болота для плана управления Республиканского ландшафтного заказника «Ельня» и мониторинга его гидрологического режима.

Болото Ельня, одно из крупнейших верховых болот Беларуси площадью 19 984 га, является центром ландшафтного заказника «Ельня» республиканского значения. Существенные изменения гидрологического режима болота произошли в середине прошлого столетия в результате добычи торфа и осушительной мелиорации сельскохозяйственных угодий по периферии болота. В настоящее время более 70 % его территории имеет нарушенный гидрологический режим. Выполнение в 1999–2009 гг. ряда проектов международной помощи по перекрытию каналов болота Ельня частично способствовало восстановлению болотных экосистем, однако в настоящее время требуется реализация новых мероприятий по оптимизации гидрологического режима.

В период 2012–2014 гг. проведены гидрологические исследования, полевая инвентаризация состояния водорегулирующих сооружений с оценкой эффективности их работы; разработаны электронные карты-схемы рельефа болота Ельня: общая ситуационная карта рельефа заказника, детальные карты рельефа территории расположения основных дренирующих каналов болота Ельня с существующими гидротехническими сооружениями, карта-схема заказника «Ельня» с водоохраной зоной, схема территории болота, ранжированной по степени нарушенности гидрологического режима, схема территориального размещения автоматических датчиков уровня грунтовых вод (УГВ) для мониторинга гидрологического режима болота; установлены 10 автоматических датчиков УГВ (рис. 1) [1].

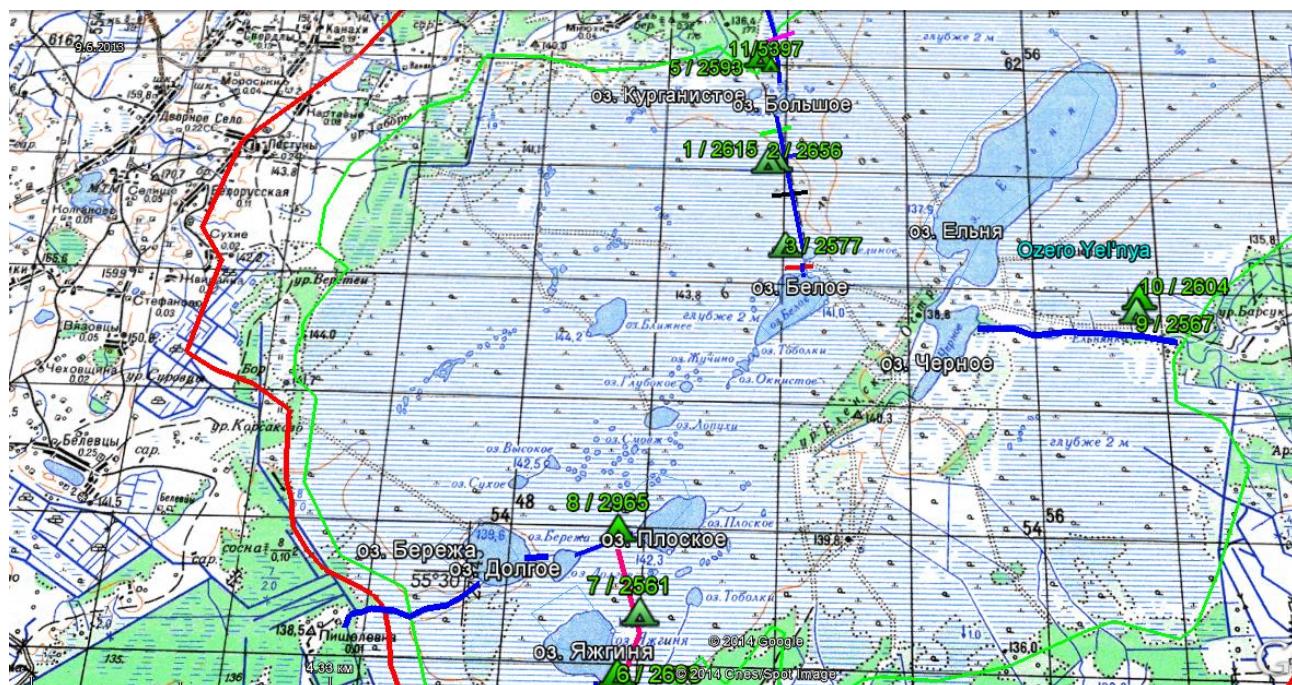


Рис. 1. Карта-схема болота Ельня и мест размещения датчиков УГВ на канале Дульский (1–5), в районе оз. Яхнина и оз. Плоское (6–8) и на р. Ельнянка (9, 10).

- граница заказника «Ельня»
- нулевая граница торфяной залежи болота Ельня
- ▲ 1/2615 — номер датчика УГВ

В июне 2014 г. сняты показания УГВ, зафиксированные автоматическими датчиками, установленными на болоте Ельня, и проведен анализ изменения УГВ с октября 2012 по июнь 2014 г. с целью дальнейшей разработки и реализации рекомендаций по оптимизации и восстановлению гидрологического режима болота.

Оптимальным условием для развития болотообразовательных процессов является положение УГВ на уровне поверхности земли с минимальной амплитудой колебания в течение года. Мероприятия по восстановлению гидрологического режима болота должны быть направлены на подъем грунтовых вод до уровня поверхности земли, причем в первую очередь в зоне влияния осушительных каналов.

Однако широкие ложбины стока, образовавшиеся вдоль каналов в результате уплотнения и минерализации торфа, не позволяют обеспечить подъем воды на значительных территориях до уровня земли. Наиболее нарушенным участком болота Ельня является район расположения канала Дульский, дренирующего северо-западную часть болота. Построенная ранее карта рельефа с интервалом отметок поверхности 0,55 м имеет перепад поверхности на этом участке 12,1 м [1]. Канал соединяет ряд озер заказника и в результате большого уклона поверхности интенсивно сбрасывает воду за пределы болота. Кроме того, вдоль канала от оз. Большое до границы заказника сформировалась ложбина стока в результате осушения и уплотнения залежи (рис. 2).

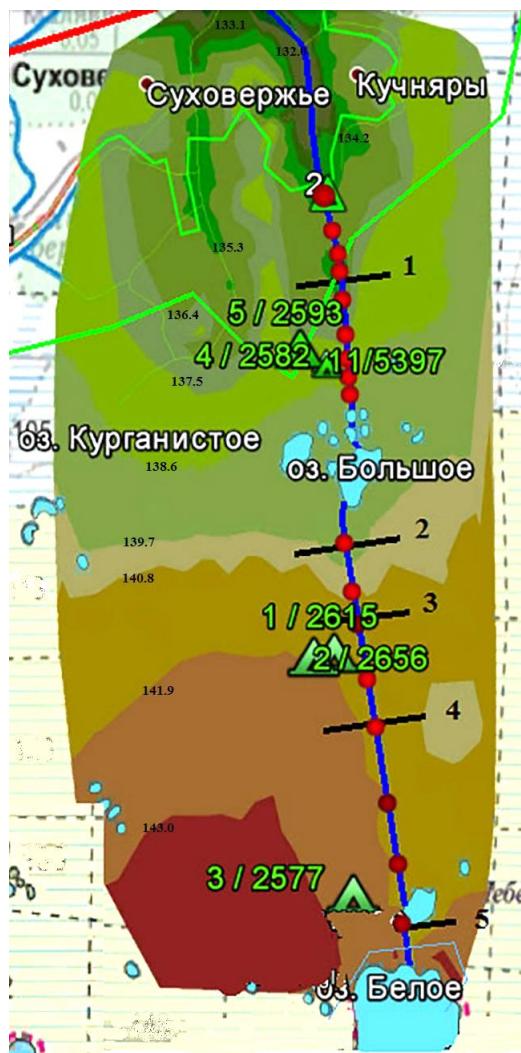


Рис. 2. Карта-схема участка расположения канала Дульский с местами размещения плотин, датчиков УГВ и профилями нивелирования:

- нулевая граница торфяной залежи болота Ельня
- профиль 1 нивелирования поверхности болота
- канал Дульский
- ▲ 1/2615 — номер датчика УГВ
- — обозначения существующих плотин

Дополнительно проведено нивелирование поверхности ложбины стока в зоне влияния осушительного канала Дульский от границы заказника до оз. Белое. Съемка отметок поверхности производилась нивелиром по пяти профилям на 250–300 м в обе стороны от канала через каждые 50 м (рис. 3). Результаты нивелирования показали, что на всех профилях наблюдается понижение поверхности земли вдоль канала, т. е. достаточно ярко выраженная ложбина стока. Для оценки изменения УГВ в зоне влияния дренирующего канала Дульский установлены пять датчиков УГВ (датчики 1–5) (см. рис. 2). Результаты исследований (рис. 4) показали, что средние значения УГВ по периферии заказника на 3–4 см выше, чем в центре, так как датчики 4 и 5 расположены в ложбине стока с

отметками поверхности 135,1–135,6 м, которая обводнена в периоды весеннего половодья и осенних паводков. Эти условия и наличие дренирующего канала объясняют большую амплитуду колебания УГВ (39–48 см). Датчики 1–3 на канале Дульский расположены на участках с отметками поверхности 140,2–141,9 м и фиксируют средние значения УГВ от 10 до 13 см ниже поверхности земли с интервалом колебаний 38–42 см.

Выбор мест размещения датчиков УГВ 6–8 обусловлен необходимостью изучения изменения УГВ в районе оз. Яжгина и оз. Плоское (см. рис. 1). Мониторинговый участок 8 представлен сфагновыми озерково-мочажинными топиями, повышения между озерками заняты кустарничково-пушицево-сосновыми ассоциациями.

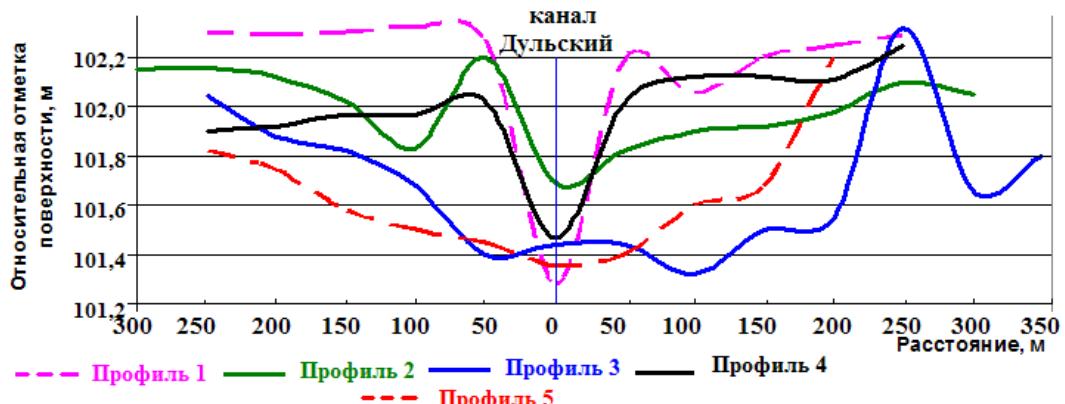


Рис. 3. Сечение рельефа поверхности земли в обе стороны от канала Дульский по профилям 1–5

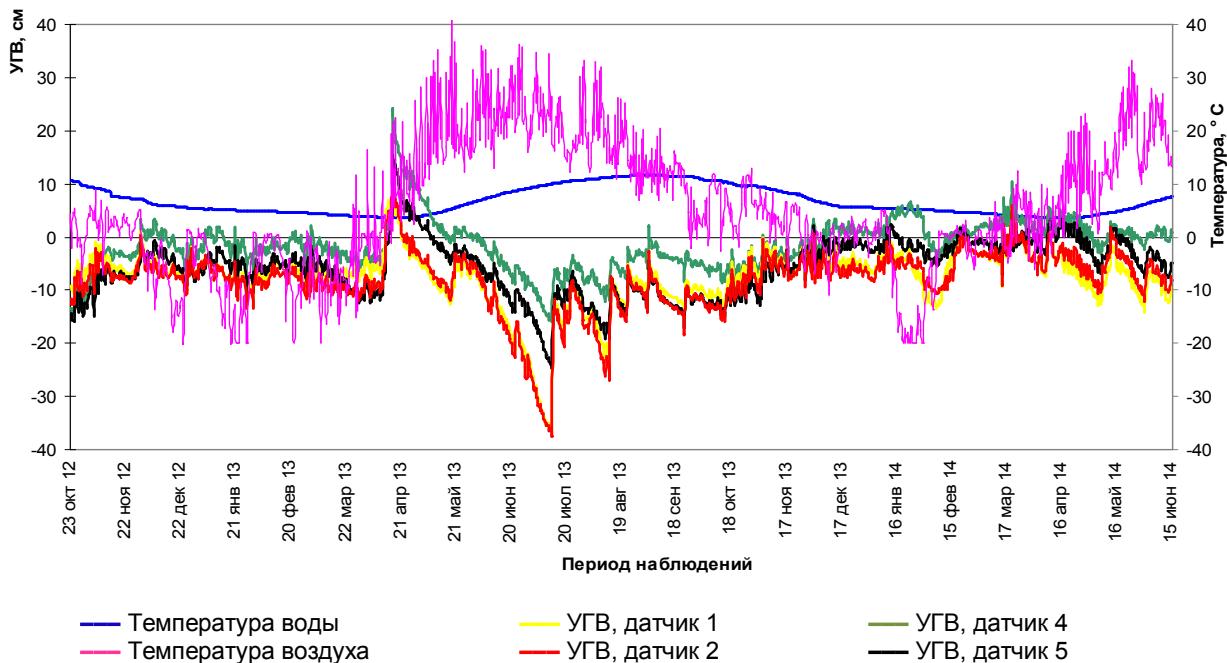


Рис. 4. Изменения температуры воздуха, температуры воды и УГВ болота Ельня вдоль канала Дульский, датчики 1, 2, 4 и 5

Средние значения УГВ ниже поверхности земли на 5 см, замеренные датчиком 8 возле оз. Плоское, показывают, что данный участок имеет практически не нарушенный гидрологический режим (рис. 5), свойственный УГВ для естественного болота [2]. Датчики 6 и 7 возле оз. Яжгина также показывают, что состояние гидрологического режима участков их расположения близко к естественному. Средние значения уровня грунтовых вод составляют 7–8 см ниже поверхности земли, их амплитуда колебания – 24–33 см (см. таблицу). Такой гидрологический режим соответствует произрастающей на мониторинговых площадках 6 и 7 сфагново-пушицево-вересковыми и кустарничково-пушицево-сосндовыми ассоциациями.

Значения сезонной и годовой амплитуд колебания УГВ в районе р. Ельнянка фиксируют два датчика 9 и 10 (рис. 6). Согласно их показаниям участок исследований возле канализированного русла р. Ельнянка имеет нарушенный гидрологический режим и характеризуется сред-

ними значениями УГВ от 11 до 16 см (см. таблицу) со значительным интервалом колебания от 40 до 50 см. Очевидно, что на расстоянии 150 м от русла реки (датчик 9) значения УГВ меньше в течение всего 2013 г., а амплитуда колебания больше, чем на расстоянии 330 м (датчик 10), что объясняется зоной влияния канализированного русла водотока.

В таблице приведены статистически обработанные данные изменений УГВ болота Ельня за весь период наблюдений (23.10.2012–16.06.2014 гг.) и за 2013 г. Поскольку исследования 2012 и 2014 гг. не включают меженные периоды этих лет, анализ статистических показателей дополнительно проводился за 2013 г., включающий все сезонные колебания УГВ. Исследуемый 2013 год характеризуется по количеству осадков близким к климатической норме. За год в Беларусь выпало 671 мм осадков или 102 % годовой климатической нормы [3]. Для наглядности проведено усреднение статистических показателей по месяцам за весь период наблюдений (рис. 7).

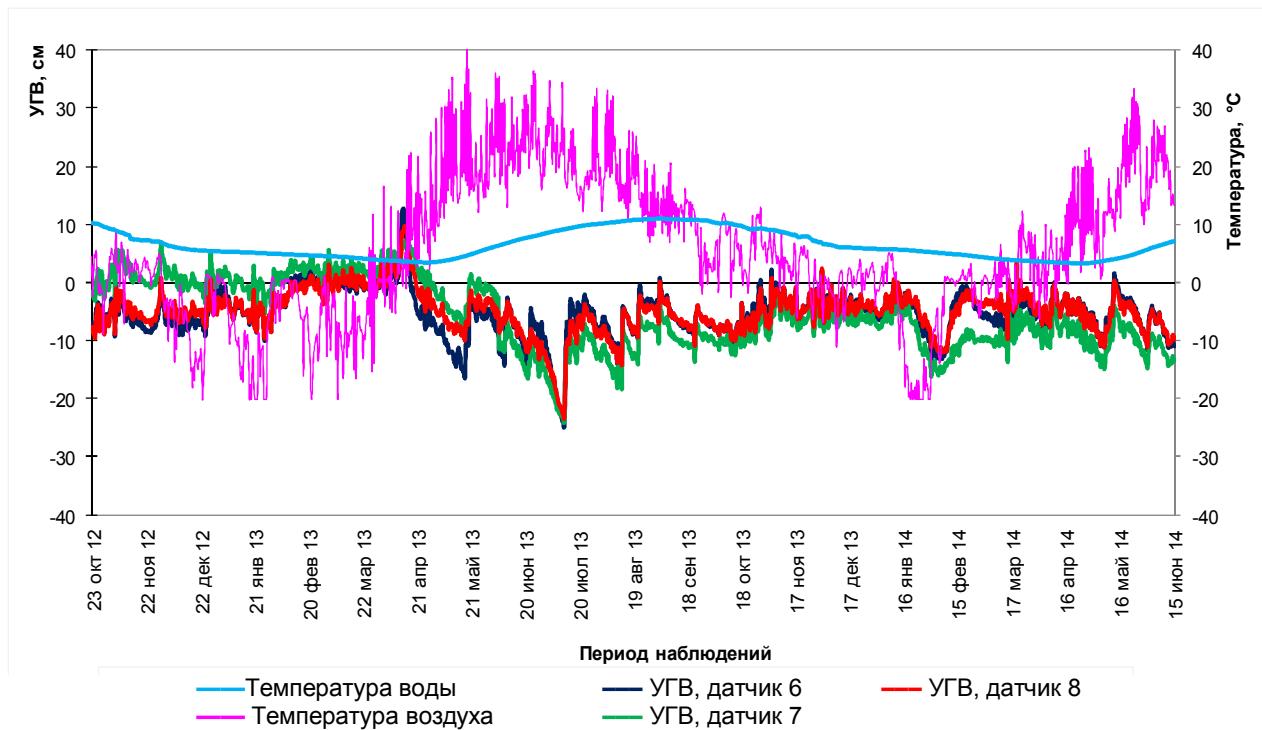
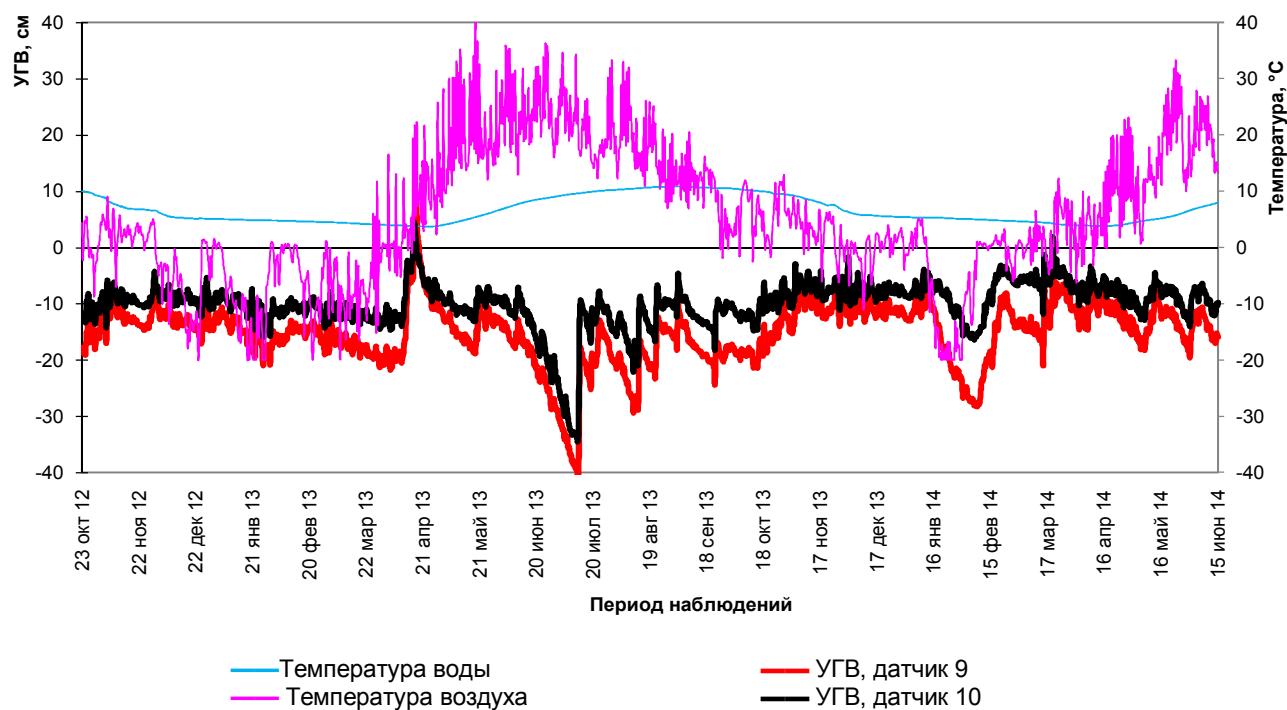


Рис. 5. Изменения температуры воздуха, температуры воды и УГВ болота Ельня, датчики 6–8



**Рис. 6. Изменения температуры воздуха, температуры воды и УГВ болота Ельня вдоль р. Ельнянка, датчики 9, 10**

**Результаты статистической обработки данных изменений УГВ на болоте Ельня за весь период наблюдений (23.10.2012–16.06.2014) и за 2013 г., см**

Показатель	Номер датчика									
	1/ 2615	2/ 2656	4/ 2582	5/ 2593	6/ 2698	7/ 2561	8/ 2965	9/ 2567	10/ 2604	
Среднее:										
1	8	11	2	3	7	8	5	15	10	
2	10	13	3	4	7	8	5	16	11	
Мода:										
1	9	15	4	1*	4	7	4	12	8	
2	9	15	4	12	4	6	5	14	8	
Амплитуда колебания УГВ:										
1	42	44	39	48	33	24	34	50	40	
2	42	38	39	48	33	24	34	50	40	
Минимум:										
1	37	38	16	25	25	24	24	41	35	
2	37	38	16	25	25	24	24	41	35	
Максимум:										
1	5*	6*	23*	23*	8*	0	10*	10*	6*	
2	5*	0	23*	23*	8*	0	10*	10*	6*	
Кол-во измерений										
1	1202	1202	1202	1202	1202	1202	1202	1202	1202	
2	729	729	729	729	729	729	729	729	729	

Примечание: 1 – за весь период исследования; 2 – исследования 2013 г.

\* УГВ расположен выше поверхности земли.

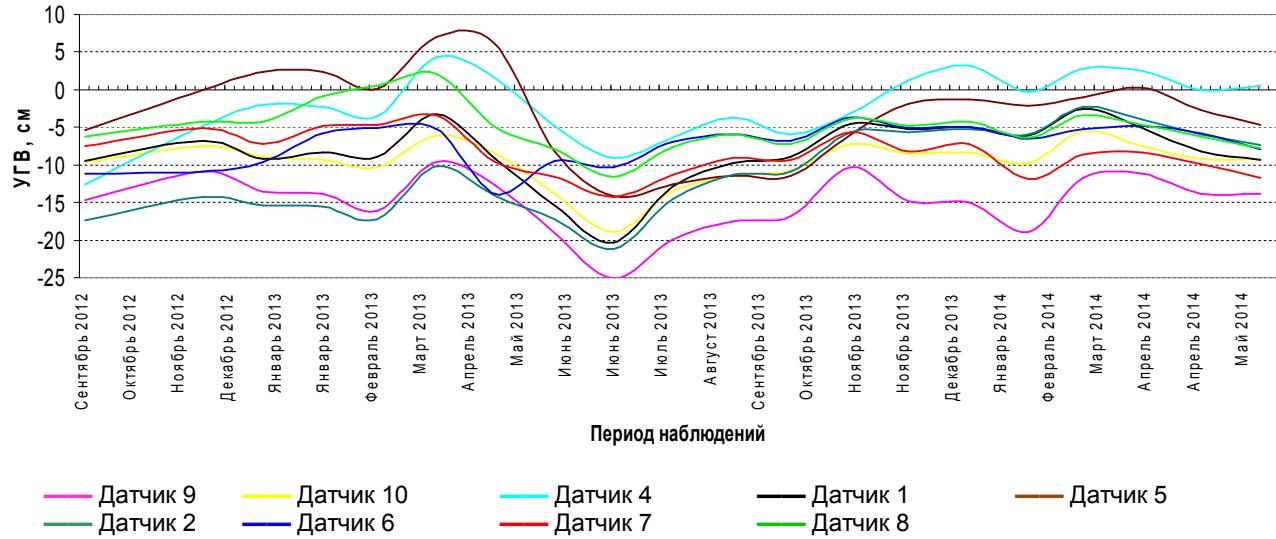


Рис. 7. График усредненных по месяцам значений УГВ на болоте Ельня за весь период наблюдений (23.10.2012 – 31.12.2013)

Анализ результатов исследования гидрологического режима болота Ельня за 2013 г. наблюдений (см. таблицу, рис. 7) позволяют сделать следующие выводы:

1. **Канал Дульский** (датчики 1–5). Самые высокие средние значения УГВ за 2013 г. имеет участок расположения датчиков 5 (3 см) и 4 (2 см) ниже поверхности земли, которые находятся вдоль канала Дульский возле границы заезжинка. Вода с болотного массива интенсивно стекает по ложбине стока от оз. Белое по каналу Дульский к периферии болота, особенно в весеннееводное. Именно поэтому данный участок характеризуется нестабильным гидрологическим режимом: интервал колебаний УГВ за период исследований составил 48 см (датчик 5) и 39 см (датчик 4). Участки с самыми низкими средними значениями УГВ находятся в местах расположения датчиков 1 и 2 на канале между озерами Большое и Лебединое (среднее значение УГВ 10 см (датчик 1) и 13 см (датчик 2) и амплитуда колебания УГВ 42 см (датчик 1) и 38 см (датчик 2)).

2. Участок в районе озер **Плоское и Яжгина** (датчики 6–8). Участок верхового болота с гидрологическим режимом близким к естественному находится в районе расположения датчиков 6–8, которые имеют средние значения УГВ за исследуемый период 7 см (датчик 6), 8 см (датчик 7) и 5 см (датчик 8) ниже поверхности земли. Самый стабильный гидрологический режим (амплитуда колебания 24 см) имеет участок расположения датчика 7 между озерами Плоское и Яжгина.

3. **Пойма р. Ельнянка** (датчики 9, 10). Участки расположения датчиков 9 и 10 возле реки Ельнянка имеют самые низкие средние значения УГВ: 16 см ниже поверхности земли (амплитудой колебания 50 см) и 11 см (40 см). Участок № 9 имеет сосново-кустарниково-сфагновую растительность, что свидетельствует о нарушении гидрологического режима, свойственного естественному верховому болоту [2]. Закономерности, установленные исследованиями К. Е. Иванова о связи между среднегодовыми уровнями грунтовых вод и растительностью, подтверждаются полученными среднегодовыми данными измерения УГВ за 2013 г. По мере уменьшения древостоя и густоты облесения от участков расположения датчика 9 к датчику 10, средний уровень грунтовых вод повышается (11 см) и уменьшается амплитуда их колебания (40 см). Мониторинговый участок 10 соответствует по колебанию УГВ комплексно-моховым (грядово-мочажинным) микроландшафтам, представленным сфагновиком кустарничково-пушицево-сосновым [2].

Данные участки требуют реализации дополнительных мероприятий по повышению и стабилизации УГВ.

На основании полевых обследований состояния перемычек и оценки эффективности их влияния на гидрологический режим, а также в результате изучения рельефа болота и анализа мониторинговых данных по изменению УГВ можно рекомендовать дальнейшую оптимизацию гидрологического режима болота Ельня. При планировании строительства плотин на каналах,

дренирующих болото, необходимо придерживаться следующих требований:

каскад плотин должен быть расположен таким образом, чтобы перепад уровней воды в канале между соседними перемычками составлял не более 30 см, т.е. расстояние между перемычками должно соответствовать перепаду отметок поверхности не более 30–40 см;

плотины должны перекрывать не только русло канала, но и всю ложбину стока, их длина должна основываться на результатах нивелировки поверхности болота;

для обеспечения длительной работы плотин их высота должна на 30 см (после уплотнения) превышать уровень самых высоких паводков;

в условиях болота Ельня необходимо применить в качестве основных глухие земляные плотины с управляемым обтеканием.

Для предупреждения нарушений растительного покрова техникой и образования ложбин стока по образовавшимся дорогам рекомендуются разработка и строительство специальных дорог-гатей для передвижения механизированных средств (в том числе вездеходов, болотоходов и аналогичных транспортных средств) по маршрутам, определенным в плане управления заказникам в соответствии с разработанной схемой.

С целью ограничения передвижения болотохода по болоту можно рекомендовать разработку плана мероприятий и графика посещения заказника на болотоходе с целью периодического обследования территории и полевых исследований.

Кроме того, целесообразно организовать строительство шлагбаумов для ограничения несанкционированного доступа транспортных средств на болото.

Необходимо разработать предложения по установлению водоохранной зоны болота и обоснование ограничений хозяйственной деятельности, которая должна осуществляться только с соблюдением мероприятий, предотвращающих загрязнение и истощение вод. В водоохранной зоне запрещается использование ядохимикатов; размещение складов для хранения минеральных удобрений и ядохимикатов; размещение и строительство складов нефтепродуктов, накопителей сточных вод животноводческих комплексов; устройство свалок мусора и промышленных отходов; добыча полезных ископаемых; производство строительных и ремонтных работ объектов осушительной мелиоративной сети глубиной более 1 м; прокладка кабелей, трубопроводов и других коммуникаций; рубка леса; буровые, сельскохозяйственные и другие работы без согласования с Миорской районной инспекцией охраны природы и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Результаты исследований апробированы в виде презентаций «Гидрологические особенности верховых болот на примере болота Ельня» на семинаре «Управление водным режимом болота Ельня» в Миорском районе Витебской области 12.06.2013 и на заключительном семинаре «Пилотные проекты» 22.05.2014 в г. Минске в рамках выполнения проекта международной технической помощи.

## Литература

1. Тановицкая, Н. И. Создание автоматизированной системы наблюдений за гидрологическим режимом на болоте Ельня / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова, Ю. Ю. Навоша // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 56–61.
2. Иванов, К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К. Е. Иванов. – Л., 1975.
3. Климатическая характеристика лета 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pogoda.by/press-release/index.php?month=09&year=2013>. – Дата доступа : 16.08.2014.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 25.09.2014 г.

**Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМА УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД  
БОЛОТА ЕЛЬНЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ**

Результаты анализа изменений уровня грунтовых вод, зафиксированные десятью автоматическими датчиками, показали, что болото Ельня имеет участки разной степени нарушенности гидрологического режима с изменениями среднегодовых значений УГВ от 41 см ниже поверхности земли до 23 см выше поверхности земли и интервала УГВ от 24 до 50 см. Основными причинами нарушения гидрологического режима являются наличие дренирующих каналов и недостаточная эффективность работы существующих перемычек. На основании изучения рельефа болота и анализа мониторинговых данных по изменению УГВ разработаны рекомендации и методы восстановления и оптимизации гидрологического режима болота для плана управления Республиканского ландшафтного заказника «Ельня» с обоснованием конструктивных особенностей и мест расположения новых плотин.

**N. I. Tanovitskaja, O. N. Ratnikova**

**THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF MIRE YELNIA REGIME  
GROUNDWATER LEVEL AND RECOMMENDATIONS FOR ITS OPTIMIZATION**

*The results of the analysis of groundwater level changes recorded by ten automatic sensors represented that mire Elnya has sites varying of degree of its hydrological regime disturbance with the changes of the mean annual groundwater level from 41 to 23 cm and GWL interval from 24 to 50 cm. The main reason of hydrological regime disturb is presence of drainage channels and the lack of efficiency of the existing damps. Recommendations and methods to restore and optimize the hydrological regime for the management plan for the National Landscape Reserve «Elnya» developed based on the study and analysis of the mire relief and monitoring data change of GWL substantiating design features and locations of new dams.*

О. Г. Савич-Шемет

## КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩЕ

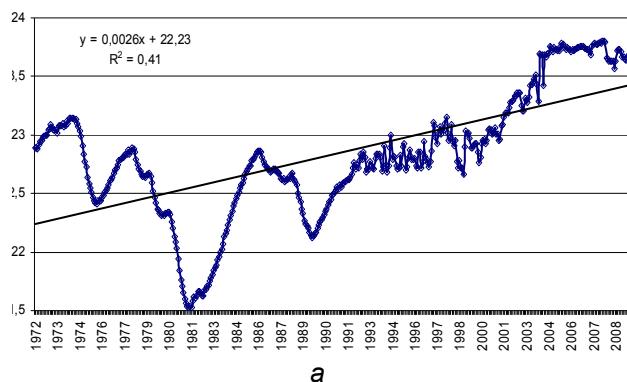
Выполнена оценка изменений уровня вод спорадического распространения на территории Беловежской пущи за период инструментальных наблюдений (1971–2009 гг.) и рассмотрены их возможные причины. Показано, что начиная с 90-х годов прошлого столетия связь уровней грунтовых вод и вод спорадического распространения усилилась.

В ряде работ показано, что в зависимости от генезиса подземных вод роль климата в изменении их уровня существенно различается [1, 2]. Климатическая составляющая особенно существенна в изменении грунтовых вод, что объясняется их близостью к дневной поверхности и малой защищенностью. Наибольший интерес представляет анализ тесноты связи уровней подземных вод различных горизонтов в зависимости от климатических условий.

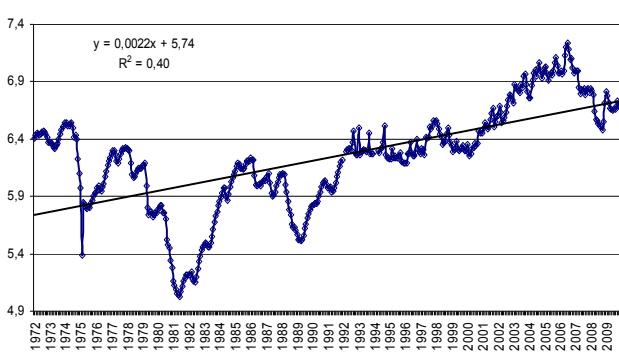
Грунтовые воды Беловежской пущи приурочены в основном к водоносным горизонтам современных болотных, аллювиальных отложений надпойменных террас и флювиогляциальных отложений времени отступания сожского ледника. Водовмещающими породами являются пески различного гранулометрического состава с включением гравия и гальки. Питание грунтовых вод осуществляется главным образом путем инфильтрации атмосферных осадков и в очень малой степени за счет подтока из нижележащих горизонтов.

Воды спорадического распространения в днепровской и сожской моренах Беловежской пущи приурочены в основном к песчаным линзам и прослоям в моренных и конечно-моренных отложениях сожского ледника и днепровской морены. Водовмещающими отложениями являются пески различного гранулометрического состава с примесью гравия, гальки, гравийных грунтов, которые переслаиваются с супесью и суглинком. Их питание осуществляется путем инфильтрации атмосферных осадков и в некоторой степени за счет подтока из нижележащих горизонтов. Считается, что воды спорадического распространения не являются полностью экранированными от воздействий вод самого верхнего горизонта грунтовых вод. В то же время частотная структура колебаний их уровня близка к частотной структуре напорных вод.

Многолетний ход уровня вод спорадического распространения (внутриморенных) Беловежской пущи для скважин Глубонецкого гидро-геологического поста представлен на рис. 1.



a



б

**Рис. 1. Многолетний ход уровня вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах на территории Беловежской пущи: скважины № 710 (а) и № 712 (б)**

Из рисунка следует, что частотная структура колебаний уровня вод спорадического распространения претерпела существенные изменения в 90-е годы прошлого столетия, особенно для скважины № 710. Если в период с 1972 по 1990 г. в изменении уровня вод спорадического распространения преобладают долгопериодные колебания длительностью в несколько лет, то в начале 90-х годов на фоне долгопериодных изменений заметны короткопериодные колебания; их дли-

тельность близка к 12 месяцам. Кроме того, для последней части ряда (1991–2009 гг.) отчетливо проявляется положительный тренд в изменении уровней вод спорадического распространения, тогда как для первой части ряда (1971–1990 гг.) наблюдается слабый отрицательный тренд. Это свидетельствует о том, что начиная с 1990-х годов в характере изменений уровня вод спорадического распространения произошли существенные изменения. Одной из возможных причин этого

может быть изменение взаимосвязи уровней выше- и нижележащего водоносных горизонтов.

С целью проверки данного предположения для всех скважин Глубонецкого гидрогеологического поста было проведено вычисление парных

коэффициентов корреляции  $r_{xy}$  и их уровня значимости  $p$  вод спорадического распространения и грунтовых вод для двух периодов: 1971–1990 и 1991–2009 гг. (табл. 1).

**Таблица 1. Коэффициенты корреляции уровней вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах и грунтовых вод для периодов 1971–1990 и 1991–2009 гг.**

№ скважины	1971–1990 гг.				1991–2009 гг.			
	661*		633		661		633	
	$r_{xy}$	$p$	$r_{xy}$	$p$	$r_{xy}$	$p$	$r_{xy}$	$p$
655	0,09	0,425	0,09	0,425	0,18	0,012	0,18	0,009
707	0,06	0,381	0,05	0,287	0,17	0,018	0,19	0,006
708	0,03	0,189	0,04	0,256	0,12	0,034	0,16	0,019
710	0,02	0,114	0,02	0,114	0,14	0,028	0,18	0,009
711	0,03	0,189	0,04	0,256	0,14	0,028	0,14	0,026
712	0,09	0,425	0,07	0,423	0,15	0,024	0,14	0,026

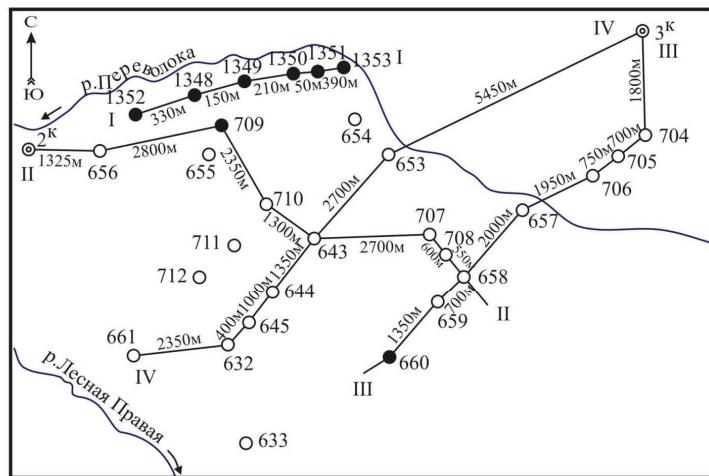
\* Номер скважины грунтовых вод (рис. 2).

Из табл. 1 видно, что, если для периода с 1971 по 1990 г. коэффициенты корреляции уровней вод спорадического распространения и грунтовых вод статистически незначимы, то для периода с 1991 по 2009 г. они становятся статистически значимыми и достигают значений 0,12–0,19. Это свидетельствует об усилении взаимосвязи грунтовых и вод спорадического распространения во втором периоде.

В качестве обоснования усиления взаимосвязи грунтовых и вод спорадического распространения кроме анализа корреляции уровней использована такая характеристика, как континентальность климата, основным показателем

которой является амплитуда годового хода (амплитуда 12-месячной гармоники). Усиление континентальности климата способствует меньшей климатической модуляции взаимосвязи грунтовых и вод спорадического распространения. Ослабление континентальности климата в период с 1988 по 2002 г. способствовало усилению климатического «сигнала» в изменении уровенного режима вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах.

Известно, что в изменении уровня грунтовых вод четко проявляется годовая гармоника [3]. Амплитуда этой гармоники составляет для грунтовых вод Беловежской пущи 0,44–1,20 м.



Условные обозначения:  
— схематическая линия геолого-гидрогеологического разреза  
○ скважина и ее номер

**Рис. 2. Схема расположение скважин Центрально-Беловежского гидрогеологического поста**

Годовая амплитуда уровней грунтовых вод уменьшалась с 1,08 м до 0,44 м с 1991 по 1997 г., а в последнее десятилетие характеризуется среднемноголетним значением 1,01 м. Такое

снижение амплитуды годовой гармоники в изменении уровней грунтовых вод хорошо согласуется с особенностями современного потепления климата. В эти годы были особенно мягкие зимы

и умеренно теплые летние сезоны (разность температур зима–лето была минимальной) и амплитуда 12-месячной гармоники приближалась к своему минимуму. Начиная с 2003 г. зимы стали менее теплыми, а летние сезоны жаркими и амплитуда 12-месячной гармоники возросла.

Появление годовой гармоники в изменении уровней вод спорадического распространения в период с 1991 по 2009 г. является другим подтверждением усиления взаимосвязи данных вод с грунтовыми.

**Таблица 2. Мощность годовой гармоники уровней вод спорадического распространения и грунтовых вод для двух периодов: 1971–1990 и 1991–2009 гг., %**

Период, гг.	Грунтовые воды		Воды спорадического распространения					
	661*	633	655	707	708	710	711	712
1971–1990	25,4	19,6	7,3	3,9	2,2	1,9	6,2	7,5
1991–2009	24,0	29,0	23,3	19,3	18,4	18,2	19,9	21,5

\* Номер скважины.

Из табл. 2 видно, что мощность 12-месячной гармоники в изменении уровней грунтовых вод при переходе от периода 1971–1990 к периоду 1991–2009 гг. незначительно изменяет свое значение. Она выбирает 19,6–29 % дисперсии ряда. Годовая гармоника в изменении уровней вод спорадического распространения для периода с 1971 по 1990 г. составляет всего 1,9–7,5 %, тогда как для периода с 1991 по 2009 г. она достигает значений 18,2–23,3 %. Таким образом, в частотной структуре изменений уровней вод спорадического распространения в период с 1991 по 2009 г. заметно проявляется годовая гармоника. Она выбирает приблизительно такой же процент дисперсии ряда, как и для грунтовых вод.

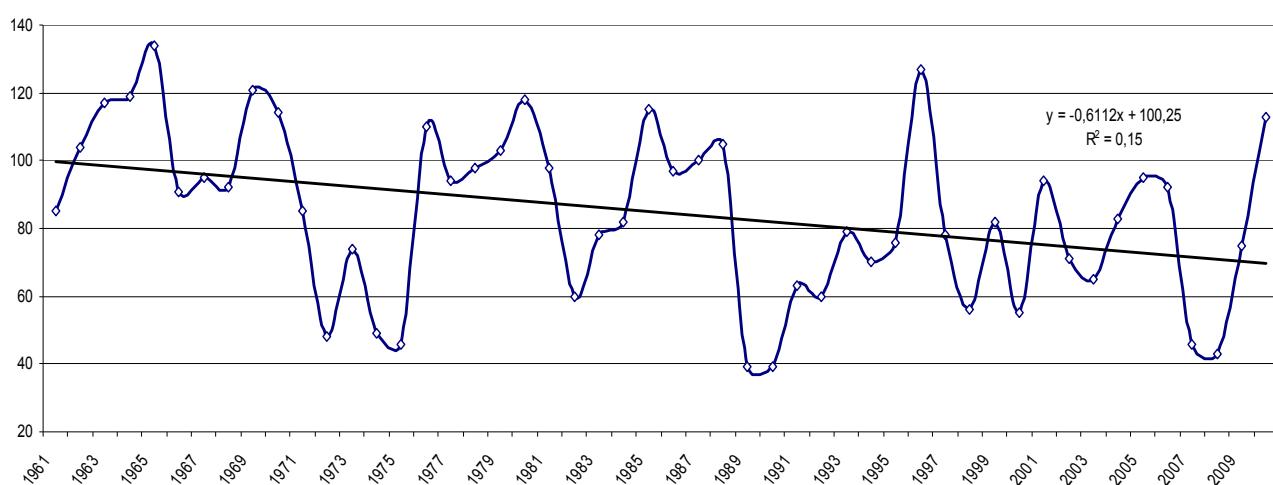
Таким образом, наши результаты свидетельствуют о том, что уровень вод спорадического распространения в последние годы испытывает сезонные изменения, что ранее отмечалось только для грунтовых вод. Это является серьезным аргументом в пользу усиления взаимосвязи грунтовых и вод спорадического распространения в

Результаты Фурье-анализа с вычислением мощности 12-месячной гармоники в рядах наблюдений за внутриморенными и грунтовыми водами для двух периодов: 1971–1990 и 1991–2009 гг. представлены в табл. 2. Поскольку период с 1991 по 2009 г. для уровней вод спорадического распространения характерен тренд, анализу был подвергнут ряд отклонений от динамической нормы ряда (тренда).

последний период, который совпал с эпохой самого мощного текущего потепления климата в Беларуси, которая началась с 1988 г.

*Особенности текущего потепления климата.* При изучении влияния изменений климата на уровневый режим подземных вод Беловежской пущи рассмотрим изменения количества дней со снежным покровом, температуры атмосферного воздуха, температуры почвы.

На метеорологической станции Волковыск за период 1961–2010 гг. характерна тенденция постепенного снижения количества дней со снежным покровом (рис. 3). Отрицательный тренд количества дней со снежным покровом выбирает 15 % дисперсии ряда. Он согласуется с выявленным трендом среднегодовой температуры, который выбирает 13–17 % дисперсии ряда [4]. Для января–марта характерно стабильное снижение максимально наблюденной толщины снежного покрова от 55–66 см для периода 1961–1990 гг. до 25–49 см для периода 1991–2010 гг.



**Рис. 3. Количество дней со снежным покровом**

В табл. 3 представлены результаты определения статистического различия количества дней со снежным покровом для периодов

1961–1990 и 1991–2010 гг. Для оценки статистической значимости различий средних использован *t*-критерий Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (X_{2i} - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}},$$

где  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  – средние значения снежного покрова для выборок.

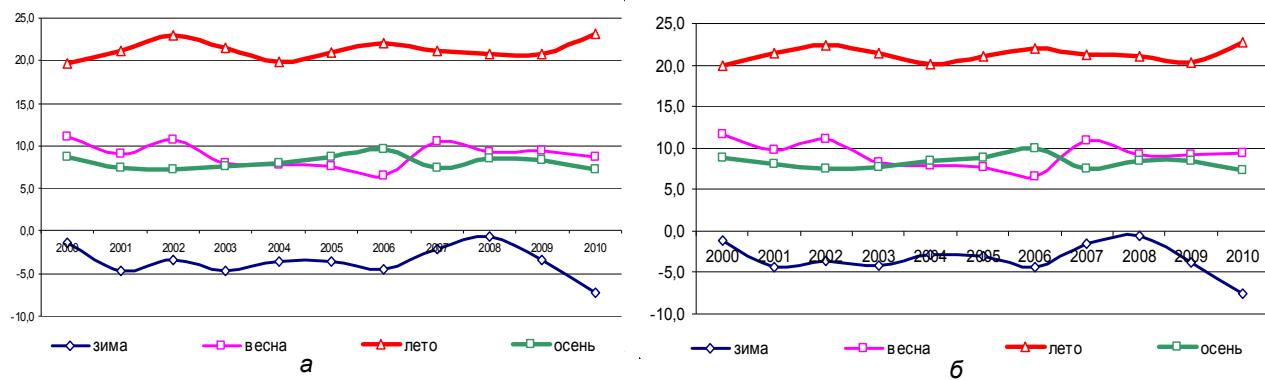
**Таблица 3. Результаты статистического анализа значимости различий количества дней со снежным покровом на метеостанции Волковыска для двух периодов: 1961–1990 и 1991–2010 гг.**

Среднее значение за годы		<i>t</i> -Критерий Стьюдента	<i>t</i> <sub>α; n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub>-2</sub>	<i>p</i> -Значение
1961–1990	1991–2010			
90,3	76,1	2,116	2,012	0,0398

Из табл. 3 видно, что *t*-критерий больше, чем квантиль распределения Стьюдента ( $|t\text{-критерий}| > |t_{\alpha; n_1+n_2-2}|$ ) и  $p < \alpha$  (заданного уровня значимости 5 %). Гипотеза о незначимости различия между средними значениями для двух периодов отклоняется, т. е. различие двух выборок статистически значимое. Таким образом,

зимние месяцы стали не только более теплыми, но и менее снежными.

Изменения температуры почвы с периодом инструментальных наблюдений (2000–2010 гг.) на ближайших к Беловежской пуще метеостанциях Волковыск и Пружаны представлены на рис. 4.



**Рис. 4. Изменение температуры почвы на метеостанциях Волковыск (а) и Пружаны (б) по сезонам года за период 2000–2010 гг.**

Из рис. 4 видно, что изменений в ряду наблюдений за температурой почвы по сезонам года за период 2000–2010 гг. не выявлено, за исключением зимних месяцев, для которых отмечено некоторое снижение температуры для Волковыска и Пружан. Осенью заметно снижение температуры в 2009–2010 гг.

Особенно важным условием формирования подземных вод является значительное повышение зимних температур воздуха в 90-е годы, которое несколько уменьшилось в последнее десятилетие, что отмечено во многих работах [4, 5]. Амплитуда годовой гармоники оказалась самой большой в период с 1991 по 2002 г. Она несколько уменьшилась в период с 2003 по 2009 г. Если для периода с 1991 по 2002 г. среднемноголетнее значение годовой амплитуды уровня составило 0,40 м, то для периода с

2003 по 2009 г. ее значение снизилось уже до 0,17 м и составило 42,5 % от предыдущего периода.

Кроме того, интересно отметить, что в эти годы изменились гидрографы стока рек: усилился сток рек в меженные сезоны (зима, лето) и ослабился сток весеннего периода. Таким образом, произошла внутригодовая трансформация речного стока, состоящая в некотором выравнивании доли стока по отдельным гидрологическим фазам [6]. Это привело к уменьшению амплитуды годовой гармоники в изменении увлажненности на территории Беларуси. Указанные особенности в изменении увлажненности территории не противоречат представлениям об усилении климатического «сигнала» в характере взаимодействия грунтовых вод и вод спорадического распространения.

Увеличение температуры атмосферного воздуха, уменьшение числа дней и мощности снежного покрова, большая повторяемость оттепелей и меньшая глубина промерзания почвы и как следствие усиление инфильтрации атмосферных осадков в холодное время года, в сово-

купности обеспечили более благоприятные условия для проявления сезонных изменений климата в характере изменений уровня не только грунтовых, но и более глубоко залегающих вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах Беловежской пущи.

### Литература

1. **Ковалевский, В. С.** Оценка представительности климатообусловленных и техногенных трендов в режиме подземных вод / В. С. Ковалевский, С. М. Семенов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидро-геология. Геокриология / ИГЭ РАН ; под науч. ред. В. И. Осипова. – М., 2006. – № 4. – С. 365–370.
2. **Ковалевский, В. С.** Влияние изменений климата на подземные воды / В. С. Ковалевский // Гео-экология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология / ИГЭ РАН ; под науч. ред. В. И. Осипова. – М., 2007. – № 2. – С. 158–170.
3. **Савич-Шемет, О. Г.** Изменения уровенного режима подземных вод Западной Беларуси (на примере Беловежской пущи и Островецкого региона) / О. Г. Савич-Шемет, А. В. Кудельский // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 190–194.
4. **Логинов, В. Ф.** Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск, 2012.
5. **Логинов, В. Ф.** Сезонные особенности изменения дневных иочных температур атмосферного воздуха на территории Республики Беларусь / В. Ф. Логинов, О. Г. Савич-Шемет // Природопользование. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 229–233.
6. **Логинов, В. Ф.** Весенние половодья на реках Беларусь: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск, 2014.

### Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 29.08.2014 г.

*O. G. Savich-Shemet*

### **КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩЕ**

Выполненная оценка изменений уровня вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах Беловежской пущи за период инструментальных наблюдений (1971–2009 гг.) показала, что уровень вод спорадического распространения в период с 1991 по 2009 г. испытывает сезонные изменения, что ранее отмечалось только для грунтовых вод. Это является серьезным аргументом в пользу усиления взаимосвязи грунтовых и вод спорадического распространения в последний период, который совпал с эпохой самого мощного текущего потепления климата в Беларусь. Увеличение температуры атмосферного воздуха, уменьшение числа дней и мощности снежного покрова, большая повторяемость оттепелей и меньшая глубина промерзания почвы в совокупности обеспечили более благоприятные условия для проявления сезонных изменений климата в характере изменений уровня не только грунтовых, но и более глубоко залегающих вод спорадического распространения. Выполнена оценка климатической модуляции взаимосвязи грунтовых вод и вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах Беловежской пущи.

*O. G. Savich-Shemet*

### **CLIMATE CHANGES IN GROUNDWATERS LEVELS OF BIALOWEZA FOREST**

*The estimation of changes in the level of groundwaters of the Bialoweza Forest in the instrumental record (1971–2009) showed that the level of groundwaters in the period from 1991 to 2009 experiencing seasonal changes that previously observed only for groundwater. This is a serious argument in favour of strengthening the relationships between groundwaters in the last period, which coincided with the era of the most powerful of the current climate warming in Belarus. An increase of the air temperature, the reducing of days and snow cover, high frequency of thaws and shallow depth of soil freezing together provided more favourable conditions for the manifestation of seasonal climate changes in the nature of changes in the level of not only groundwaters, but also more deep-seated groundwaters. The evaluation of the relationship between climate modulation of groundwaters have been done.*

УДК 550.4:551.3

**В. С. Хомич, В. А. Рыжиков, П. В. Курман**

## **ЗОЛООТВАЛЫ ТЭЦ КАК ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ**

*Рассмотрены содержание и особенности распределения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в толще золоотвала ТЭЦ, работавшей на торфе. Представлена оценка загрязнения почв вблизи золоотвала различными соединениями ПАУ.*

Золо- и шламохранилища в технологической цепи энергетического комплекса страны являются важным звеном, обеспечивающим складирование токсичных отходов в виде золы и шлака. В результате многолетней эксплуатации теплоэлектростанций, работавших на твердых видах топлива, в республике накопилось огромное количество золошлаковых отходов. Известно, что золоотвалы являются одним из источников загрязнения окружающей среды: увеличивают запыленность атмосферного воздуха, токсичные соединения, содержащиеся в золе, способны поступать в почву, поверхностные и грунтовые воды и вызывать их загрязнение [2, 14]. При этом многие накопители отходов, в том числе золоотвалы, находятся в предаварийном состоянии из-за переполнения, деформации дамб, неудовлетворительной работы противофильтрационных сооружений.

В настоящее время существует разрозненная информация о содержании загрязняющих веществ в золе золоотвалов. В литературе в основном приводятся данные о содержании водорастворимых веществ и тяжелых металлов в золе ТЭЦ, работающих на каменном угле [7]. В то же время информация о содержании загрязняющих веществ в золе от сжигания торфа немногочисленна [6]. Известно, что при любых процессах горения, в том числе при сжигании торфа, происходит образование высокотоксичных органических соединений, входящих в группу полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Большинство соединений этой группы, в частности бензо(а)пирен, хорошо сорбируются различными твердыми частицами, в особенности тонкодисперсными (частицами сажи, золы и пыли), что способствует их переносу аэрозолями на большие расстояния и накоплению в депонирующих средах (почвах, донных отложениях, сельхозпродукции и др.) [3]. С ростом городов места размещения накопителей отходов, в частности золо- и шламохранилища, попадают в городскую черту, в результате чего возрастаёт риск поступления данных соединений в организм человека.

Цель исследования – изучить содержание ПАУ в золе, образовавшейся при сжигании торфа, и оценить степень загрязнения почв на прилегающей территории.

**Объект и методика исследования.** В качестве объекта исследования выбран золоотвал Витебской ТЭЦ, сформированный в 1950–1970-е гг. при складировании золы и шлака, образовавшихся при сжигании торфа на ТЭЦ, расположенной в западной части г. Витебска. Золоотвал состоит из двух секций: восточной и западной, на которых хранится около 2 млн т золы и шлака (рис. 1). Восточная секция полностью заполнена золой и практически не используется, западная разбита на две части, на одной из них хранится зола, а вторая используется для складирования шлама, образующегося при работе Витебской ТЭЦ. Территория каждой из секций одамбована, борта которых сложены породами плотного гранулометрического состава (глинами и суглинками) и возвышаются над прилегающей территорией на высоту от 3 до 5 м. Мощность отложений золы составляет 5–8 м. Сверху зола перекрыта насыпными перемешанными песчаными и супесчаными грунтами с примесями золы, мощность которых изменяется от 0,2 до 1,7 м. Снизу зола подстилается плотными суглинками и глинами, являющимися водоупором. «Грунтовые воды» в пределах каждой из секций золоотвала находятся на глубине от 0,7 до 2,9 м от поверхности (рис. 2). К территории золоотвала с восточной и южной стороны прилегают жилые кварталы с усадебной и многоэтажной застройкой, с западной – гаражи, а с северной – осваиваемая под застройку и фрагментарно заболоченная территория.

Для изучения свойств и химического состава отходов, складированных на золоотвале, была заложена сеть буровых скважин с учетом площади исследуемых объектов. Всего пробурено восемь скважин: на восточной секции – пять, на западной – три. Бурение осуществлялось на всю мощность отложений отходов и 1,5–2 м подстилающей породы. Образцы грунта отбирались из буровых кернов с интервалом около 1 м. Места отбора проб представлены на рис. 1.

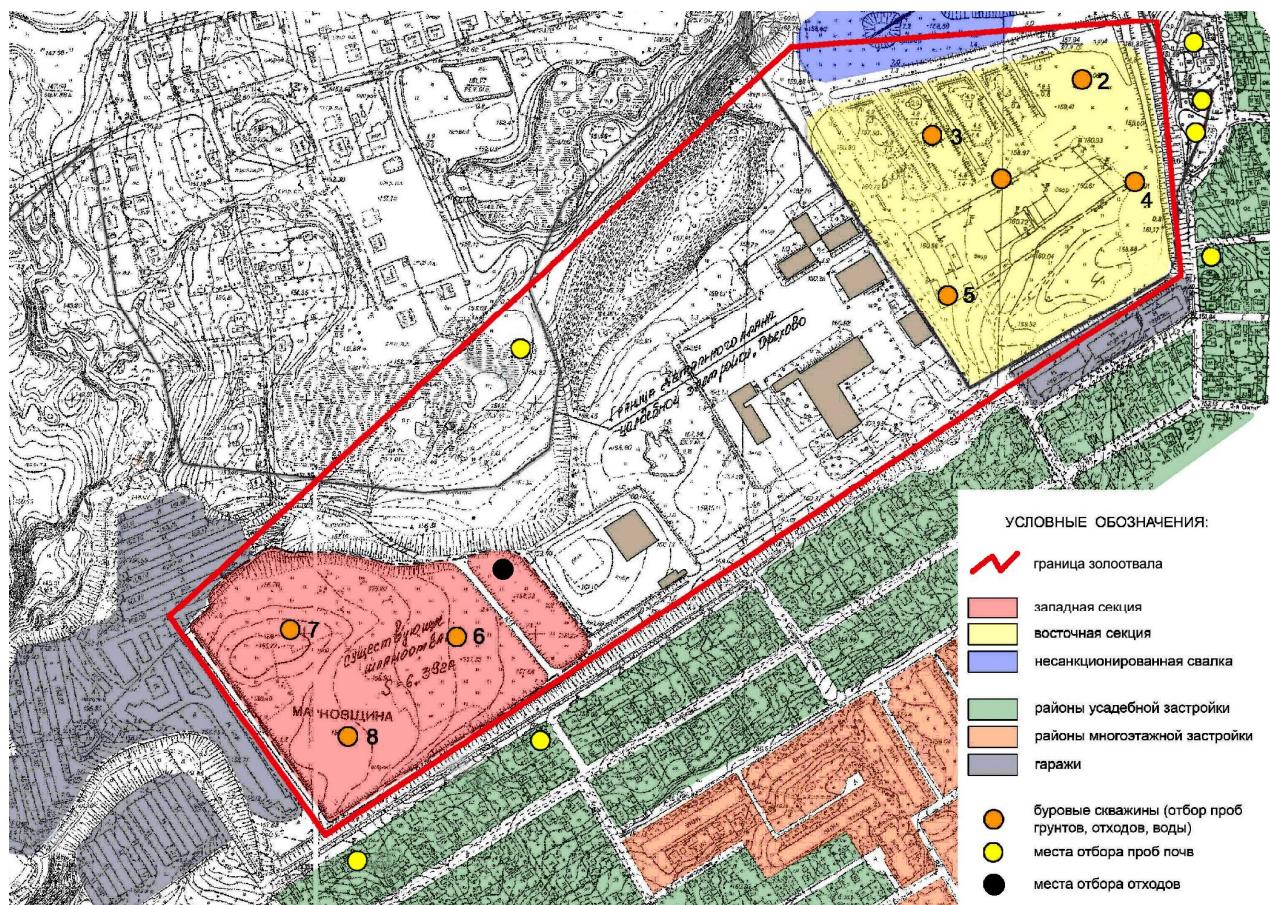


Рис. 1. Схема расположения золоотвала и мест отбора проб

Полевые исследования почв в зоне влияния золоотвала проводились с использованием методических подходов геохимии ландшафтов, позволяющие учитывать ландшафтно-геохимические особенности территории и потоки миграции загрязняющих веществ [1, 4, 5, 9, 11]. Для характеристики почвенного покрова исследуемой территории использовались общепринятые в почвоведении методы [12].

Пробы почв и отходов высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, растирались и просеивались через сито 1 мм [13]. Определение соединений ПАУ в образцах осуществлялось в соответствии с СТБ НСО 13877-2005 методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Определялись 16 соединений ПАУ.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Оценка показателя pH техногенных грунтов в пределах золоотвала показала, что реакция среды в них изменяется от слабощелочной ( $\text{pH} = 7,8\text{--}8,5$ ) до сильнощелочной ( $\text{pH} > 9,5$ ). Слабощелочная среда характерна для верхних насыпных техногенных грунтов, перекрывающих отложения золы, значения pH для которых составили 7,5–7,9 (среднее 7,7). Высокие значения pH, равные 8,9–10,5 (среднее 10,4), характерны для отложений золы, что позволяет их классифицировать как щелочные и сильнощелочные.

Для верхних горизонтов подстилающих пород, непосредственно контактирующих с золой, реакция раствора имеет сильнощелочной характер ( $\text{pH} > 9,5$ ), для более глубоких – щелочной и слабощелочной (7,5–9,1).

Содержание органического вещества в верхних насыпных грунтах изменяется от 4,8 до 24,0 % при среднем значении 10,6 %. Высокое содержание органического вещества в золе (в среднем 18,9 %) свидетельствует о значительном недожиге торфа на ТЭЦ. В подстилающих и погребенных грунтах содержание органического вещества колеблется от 0,7 до 93,0 %. Низкое содержание характерно для подстилающих суглинистых и глинистых пород (0,7–7,5 %), высокое (78,6–93,0 %) – для погребенного торфа.

**Содержание ПАУ в золе золоотвала.** Согласно полученным данным, в толще золоотвала ПАУ фиксируются во всех анализируемых пробах. При этом содержание соединений ПАУ в золе варьируется в широком диапазоне (табл. 1). Так, значения суммы ПАУ изменяются от 1,639 до 12,910 мг/кг (среднее 4,6 мг/кг).

Сопоставление данных о содержании соединений ПАУ в золе золоотвала и их содержании в выбросах, образующихся при горении торфа [7], показало, что их содержание в летучей мелкодисперсной золе и саже на 1–2 порядка выше, чем в накоплениях золы и шлама в золоотвале.

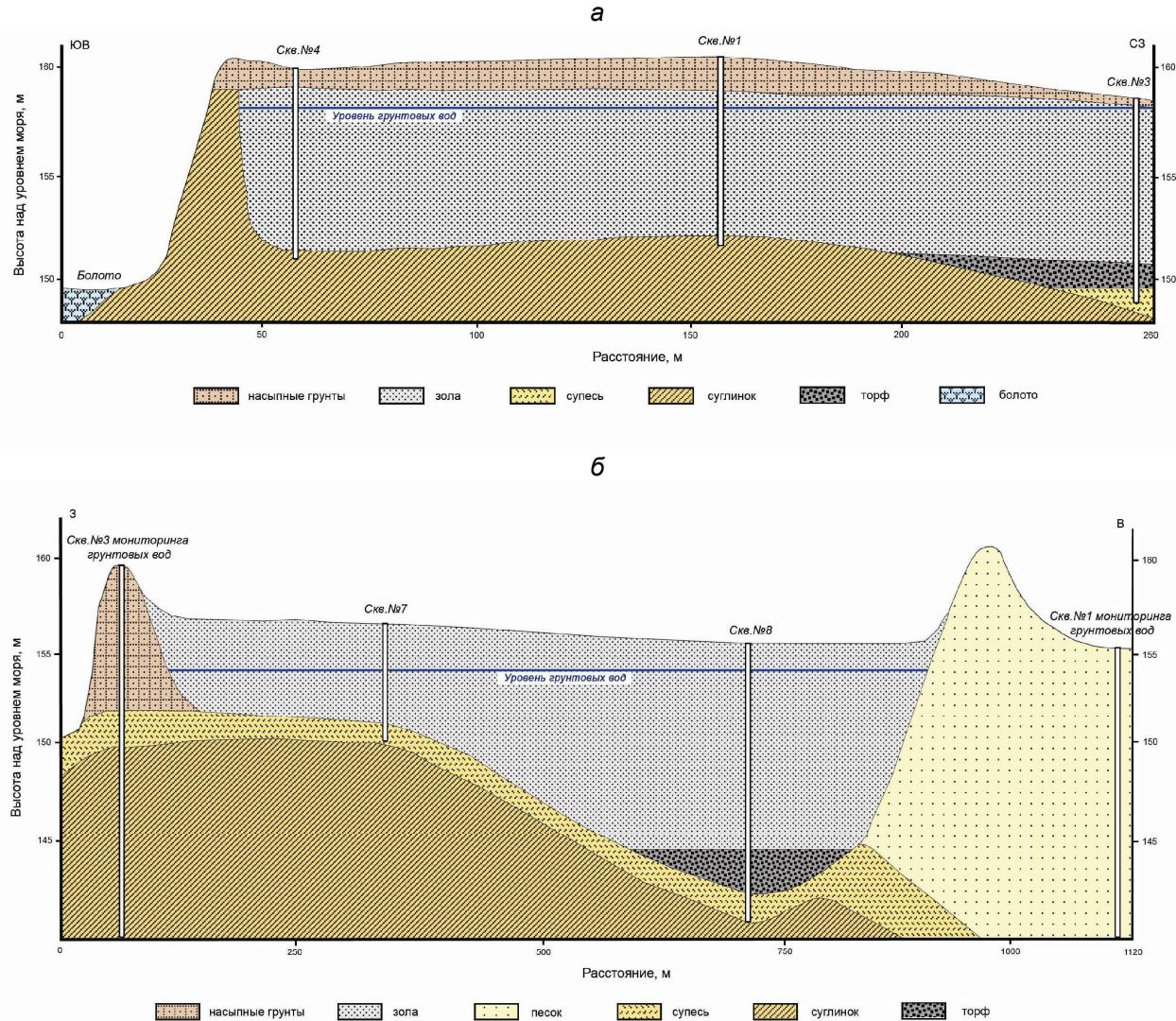


Рис. 2. Гидрогеологический профиль через золоотвал:  
а – восточная секция; б – западная секция

Таблица 1. Содержание ПАУ в золе торфа золоотвала Витебской ТЭЦ, мг/кг

Соединение	Минимальное	Максимальное	Среднее
Нафталин	0,520	3,651	1,948
Аценафтителен	0,040	1,618	0,435
Аценафтен	0,090	0,332	0,176
Флуорен	0,016	0,307	0,137
Фенантрен	0,022	2,132	0,562
Антрацен	Н.о.	0,297	0,089
Флуорантен	»	2,098	0,475
Пирен	0,014	2,070	0,482
Бензо(а)антрацен	0,022	0,144	0,068
Хризен	Н.о.	0,199	0,063
Бензо(б)флуорантен	»	0,139	0,055
Бензо(к)флуорантен	»	0,050	0,021
Бензо(а)пирен	»	0,126	0,040
Индено(1,2,3-с,d)пирен	»	0,100	0,024
Дибензо(а,h)антрацен	»	0,027	0,007
Бензо(g,h,i)перилен	»	0,110	0,020
Сумма ПАУ	1,639	12,910	4,602

Среди соединений ПАУ в золе золоотвала доминируют летучие низкомолекулярные соединения, на долю которых приходится 94 %. Среди соединений данной группы преобладают нафталин, фенантрен, пирен, флуорантен и аценафтилен. Максимальный вклад в сумму ПАУ вносит нафталин, на его долю приходится до 43 % (рис. 3). На долю высокомолекулярных соединений (бензо(а)антрацен, хризен, бензо(а)пирен, бензо(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, бензо(g,h,i)пирен, индено(1,2,3-c,d)пирен, дibenzo(a,h)антрацен) в золе ТЭЦ приходится 6 %. Эти данные согласуются с результатами исследований о структуре ПАУ в летучей золе и саже торфа, в которых также преобладают низкомолекулярные соединения, в частности фенантрен и нафталин [6].

Изучение радиального распределения ПАУ в толще золоотвала ТЭЦ проводилось на примере скважины 1. Содержание исследуемых соединений в отложениях золы выше или сопоставимо с их содержанием в перекрывающих ее насып-

ных грунтах и значительно выше их концентраций в подстилающих породах (рис. 4).

Для большинства соединений ПАУ наблюдается общая тенденция увеличения их содержания с глубиной, так максимальное значение их суммы (3,3 мг/кг) характерно для золы, залегающей на глубине 6 м. Это, вероятно, связано с радиальными миграционными потоками соединений ПАУ и мелкодисперсным составом золы, расположенной на данной глубине. Минимальные значения (0,108 мг/кг) характерны для подстилающих пород тяжелого гранулометрического состава, представленных тугопластичным суглинком, выполняющим роль механического и сорбционного геохимического барьера.

Рассматривая радиальное распределение соединений ПАУ с дифференциацией их на группы, следует отметить, что для низкомолекулярных соединений наблюдается общая тенденция увеличения их содержания с глубиной. Максимальное содержание высокомолекулярных соединений характерно для верхних техногенных грунтов, минимальное – для подстилающих пород.

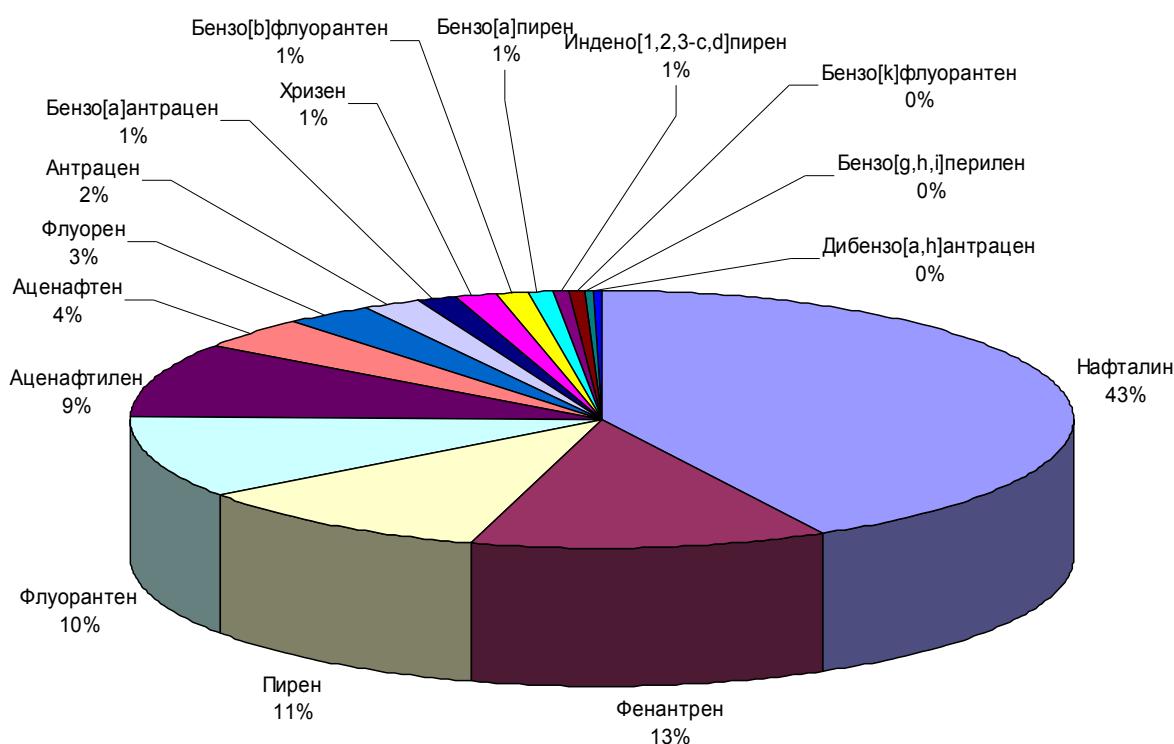
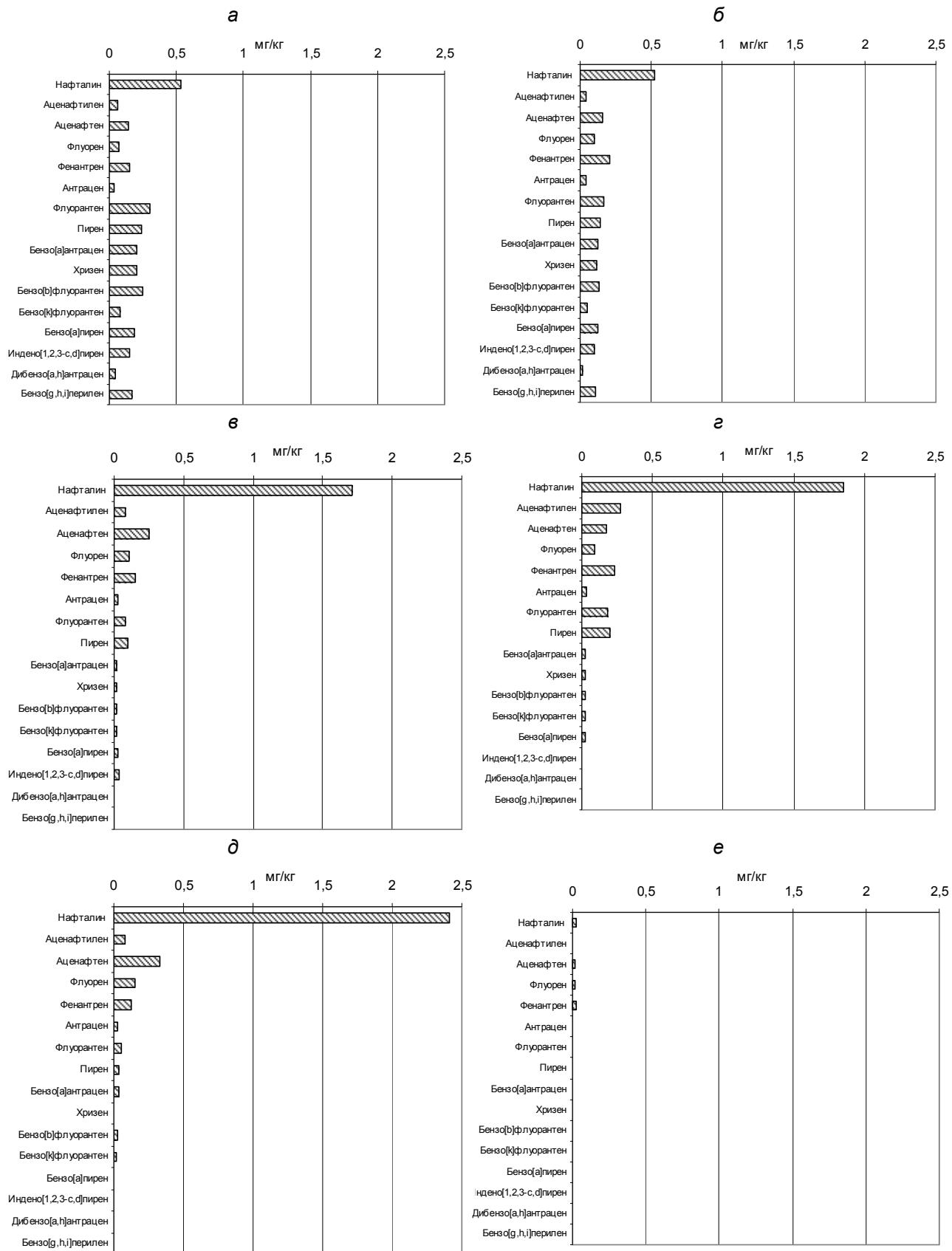


Рис. 3. Структура соединений ПАУ в золе торфа золоотвала Витебской ТЭЦ



**Рис. 4. Радиальное распределение соединений ПАУ в толще золоотвала (скважина 1):**  
**а – на глубине 0–10 см (насыпные грунты); б – 90–100 см (зола); в – 190– 200 см (зола); г – 290–300 см (зола); д – 590–600 см (зола); е – 870–880 см (подстилающие породы, суглинок)**

В пробе шлама, складируемого в пределах восточной секции золоотвала, фиксируются все определяемые соединения ПАУ (рис. 5). Их содержание составило от 0,055 (бензо(k)флуорантен) до 3,320 мг/кг (хризен). Сумма ПАУ в шлаке составила 13,2 мг/кг. В составе ПАУ преобладают высокомолекулярные многоядерные соединения, на долю которых приходится 65 %,

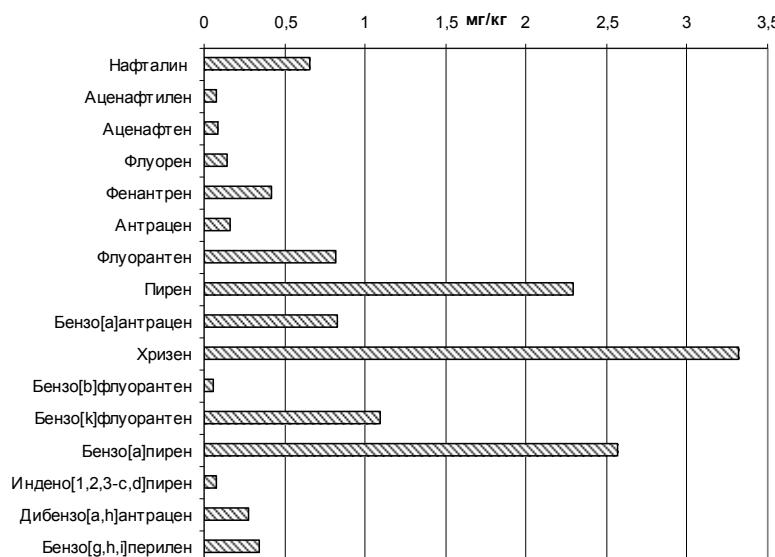


Рис. 5. Содержание соединений ПАУ в пробе шлама

**Особенности загрязнения почв ПАУ в районе размещения золоотвала.** Территория, прилегающая к золоотвалу, хорошо освоена. Среди природных разновидностей почв здесь представлены дерново-подзолистые и торфяно-болотные. Верхние горизонты дерново-подзолистых почв на территории индивидуальной застройки окультурены в результате сельскохозяйственного использования территории, имеют легкий гранулометрический состав и представлены супесями. Снизу они подстилаются суглинками, в нижней части почвенного профиля обводненные из-за близкого залегания грунтовых вод. Торфяно-болотные почвы встречаются в пределах заболоченного участка к северо-западу от золоотвала и представлены среднеразложившимся сфагновым и тростниковым торфом, подстилаемым суглинками. Для дерново-подзолистых почв характерна нейтральная среда почвенного раствора ( $\text{pH} = 6,3-6,7$ ) и невысокое содержание органического вещества – 7,3–15,6 % (среднее – 7,5 %). Кислая среда ( $\text{pH} = 3,6-3,8$ ) и высокое содержание органического вещества (96,8–97,1 %) отмечаются в торфяно-болотных почвах.

на низкомолекулярные – 35 %. Так, доля хризена составляет 25 %, бензо(а)пирена – 19, пирена – 17, бензо(к)флуорантена – 8, бензо(а)антрацена – 6, флуорантена – 6, нафталина – 4, фенантрена – 3, бензо(g,h,i)перилена – 2 и дибензо(а,х)антрацена – 2 %. Доля остальных соединений не превышает 1 %.

Проведенные химико-аналитические исследования поверхностного слоя почв (0–10 см), расположенных в зоне влияния золоотвала, показали, что содержание изомеров ПАУ варьирует в широких пределах, а сумма 16 соединений ПАУ в почвах, прилегающих к золоотвалу, изменяется от 1,442 до 3,510 мг/кг, при среднем значении 2,106 мг/кг (табл. 2). Среди изомеров ПАУ в почвах преобладают высокомолекулярные соединения, на долю которых приходится 60 %, на низкомолекулярные – 40 %. Среди высокомолекулярных соединений доминируют бензо(b)флуорантен – 13 %, хризен – 10, бензо(а)антрацен – 9, бензо(а)пирен – 8 %, среди низкомолекулярных – флуорантен – 13 %, пирен – 10, нафталин – 8 % (рис. 6). Соотношение высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений ПАУ в почвах отличается от такового в золе золоотвала, в составе которой велика доля летучих низкомолекулярных соединений. Очевидно, что при поступлении ПАУ в почвы, расположенные вблизи золоотвала, участвуют несколько источников, среди которых, печная зола, использующаяся на приусадебных участках населением в качестве удобрения почв и выпадения летучей золы на подстилающую поверхность при сжигании торфа на ТЭЦ.

**Таблица 2. Содержание ПАУ в почвах усадебной застройки вблизи золоотвала Витебской ТЭЦ и г. Минска, мг/кг**

Соединение	Жилая усадебная застройка вблизи золоотвала Витебской ТЭЦ (6)*		Жилая усадебная застройка г. Минск** (3)	
	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее
Нафталин	0,250	0,167	0,02	0,01
Аценафтилен	0,049	0,033	0,00	0,00
Аценафтен	0,039	0,028	0,00	0,00
Флуорен	0,022	0,018	0,00	0,00
Фенантрен	0,132	0,086	0,16	0,05
Антрацен	0,037	0,021	0,00	0,00
Флуорантен	0,448	0,274	0,23	0,12
Пирен	0,383	0,218	0,12	0,06
Бензо(а)антрацен	0,353	0,197	0,24	0,11
Хризен	0,377	0,208	0,09	0,04
Бензо(b)флуорантен	0,522	0,273	0,12	0,05
Бензо(k)флуорантен	0,166	0,084	0,04	0,02
Бензо(а)пирен	0,345	0,168	0,04	0,01
Индено(1,2,3-c,d)пирен	0,264	0,162	0,16	0,05
Дибензо(а,h)антрацен	0,104	0,047	0,00	0,00
Бензо(g,h,i)перилен	0,219	0,121	0,00	0,00
Сумма ПАУ	3,510	2,106	1,19	0,53

\* В скобках приведено количество проб.

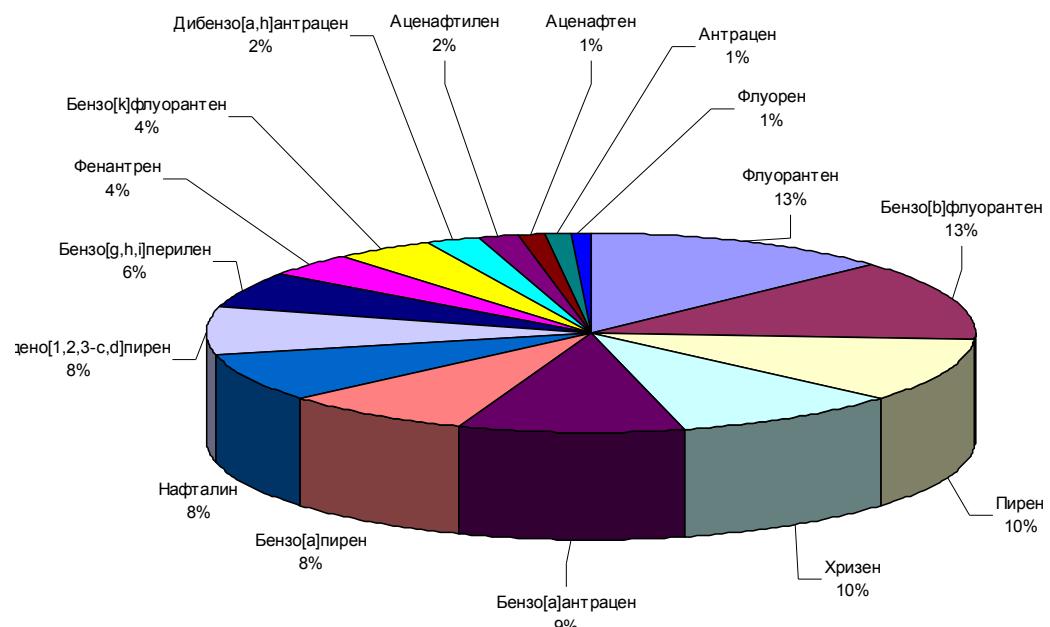
\*\* По данным [8].

Сравнение данных о содержании ПАУ в почвах жилой усадебной застройки вблизи золоотвала Витебской ТЭЦ и в почвах жилой застройки других городов, где вносится печная зола в качестве удобрения почв, показало, что данные о структуре ПАУ в почвах усадебных зон Витебска и Минска сопоставимы между собой: в обоих случаях преобладают высокомолекулярные соединения (рис. 6). На их долю приходится 55 % суммы 16 ПАУ, в том числе бензо(а)антрацен – 21 %, бензо(b)флуорантен – 9, индено(1,2,3-c,d)пирен – 9 и хризен – 8 % (табл. 2). Это согласуется с данными о структуре ПАУ в золе, образующейся при сжигании дров и торфяных брикетов [6] и об их содержании в почвах вблизи кострищ рекреационных зон городов [8].

Кроме печной золы другим источником поступления ПАУ в почвы жилой зоны прилегающей к золоотвалу Витебской ТЭЦ является шлам, складируемый в пределах западной секции, поскольку в его составе преобладают высо-

комолекулярные соединения (см. рис. 5). В отличие от золы золоотвала шлам хранится открытым способом и не перекрыт насыпными грунтами, поэтому поступление ПАУ в почвы осуществляется при его развеивании воздушными потоками в процессе транспортировки, разгрузки и хранения. Кроме того, в почвы в пределах приусадебных участков, расположенных вблизи золоотвала, поступление ПАУ возможно при сжигании мусора и бытовых отходов (полиэтилена, пластмассы и пр.).

Сопоставление данных о содержании ПАУ в почвах, расположенных в зоне влияния золоотвала, с установленными для них санитарно-гигиеническими нормативами (ПДК/ОДК) [10] показало, что приоритетными загрязнителями являются нафталин, фенантрен, флуорантен, бензо(а)антрацен, бензо(а)пирен и бензо(g,h,i)-перилен. Для данных соединений отмечается превышение установленных уровней в 83–100 % случаев (табл. 3).



**Рис. 6. Структура соединений ПАУ в поверхностном слое почв (0–10 см), на приусадебных участках вблизи золоотвала Витебской ТЭЦ**

Таблица 3. Загрязнение почв ПАУ на приусадебных участках вблизи золоотвода Витебской ТЭЦ

Соединение	Диапазон концентраций, мг/кг	ПДК, мг/кг	ОДК, мг/кг	Доля проб с превышением ПДК/ОДК, %	Кратность превышения ПДК/ОДК, раз
Нафталин	0,083–0,250	—	0,015	100	5,5–16,7
Аценафтилен	0,020–0,049	—	—	—	—
Аценафтэн	0,018–0,039	—	—	—	—
Флуорен	0,015–0,022	—	—	—	—
Фенантрен	0,053–0,132	0,01	—	100	5,3–13,2
Антрацен	0,015–0,037	—	0,050	—	—
Флуорантен	0,195–0,448	—	0,015	100	13,0–29,9
Пирен	0,149–0,383	—	—	—	—
Бензо(а)антрацен	0,137–0,353	—	0,020	100	6,8–17,7
Хризен	0,150–0,377	—	1,00	—	—
Бензо(b)флуорантен	0,184–0,522	—	—	—	—
Бензо(k)флуорантен	0,054–0,166	—	—	—	—
Бензо(а)пирен	0,012–0,345	0,02	—	83	0,6–17,3
Индено(1,2,3-с,d)пирен	0,123–0,264	—	0,025	100	4,9–10,6
Дибензо(а,h)антрацен	0,026–0,104	—	—	—	—
Бензо(g,h,i)перилен	0,091–0,219	—	0,020	100	4,6–10,9
Сумма ПАУ	1,442–3,510	—	1,00	100	1,4–3,5

Максимальная кратность превышения ПДК/ОДК установлены для флуорантена, бензо(а)пирена, нафталина и составляет 29,9, 173 и 16,7 раз соответственно. Для других соединений ПАУ превышение санитарно-гигиенических нормативов составляет: фенантрена – 5,3–13,2 раза, бензо(а)антрацена – 6,8–17,7, бензо(g,h,i)перилена – 4,9–10,6 раза. По сумме 16 соединений ПАУ превышение допустимого уровня составляет от 1,4 до 3,5 раза.

**Выводы.** Выполненные исследования показали, что в золе, образующейся при сжигании

торфа на ТЭЦ, фиксируются все анализируемые соединения ПАУ, среди которых доминируют летучие низкомолекулярные соединения. Из соединений данной группы преобладающими являются нафталин, фенантрен, пирен, флуорантен и аценофтилен. В радиальном распределении ПАУ в толще золоотвала наблюдается общевыраженная тенденция увеличения содержания низкомолекулярных соединений с глубиной, а для высокомолекулярных – противоположная тенденция.

Зола торфа, накопленная в золоотвале, является потенциальным источником загрязнения.

ния почв и других природных компонентов: среднее содержание нафталина в золе более чем в 100 раз выше санитарно-гигиенического норматива для почв, фенантрена – в 56 раз, флуорантена – в 30 раз, бензо(а)пирена – в 2 раза, суммы ПАУ – в 4,6 раза.

Установлено, что в почвах, расположенных на территории приусадебных участков вблизи золоотвала, фиксируется высокое содержание ПАУ с преобладанием высокомодекулярных соединений, на долю которых приходится 60 %. Приоритетными загрязнителями почв данной территории являются нафталин, фенантрен, флуорантен, бензо(а)антрацен, бензо(а)пирен и бензо(g,h,i)перилен. Для этих соединений пре-

вышение ПДК / ОДК отмечено в 83–100 % случаев. Наибольшая степень превышения допустимого уровня характерна для флуорантена (13,0-29,9 раз) и бензо(а)пирена (до 17,3 раз).

Загрязнение ПАУ почв жилой усадебной застройки, расположенной вблизи золоотвала, вызвано несколькими источниками, среди которых наиболее вероятными являются: внесение печной золы в качестве удобрения, сжигание населением бытовых отходов на приусадебных участках, выпадение пыли на подстилающую поверхность вследствие реэмиссии золы с поверхности золоотвала и выбросов летучей золы на ТЭЦ в период сжигания торфа.

## Литература

1. Алексеенко, В. А. Геохимия ландшафта и окружающая среда / В. А. Алексеенко. – М., 1990.
2. Алимбаева, Ю. Д. Дренированные золоотвалы тепловых электростанций с противофильтрационными плёночными экранами : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Ю. Д. Алимбаева. – Красноярск, 2007.
3. Бенз(а)пирен / под ред. Н. Ф. Измерова ; сост. М. Г. Домшлаг // Сер. «Научные обзоры советской литературы по токсичности и опасности химических веществ». – М., 1983.
4. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, [и др.]. – М., 1990.
5. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М. А. Глазовская. – М., 2007.
6. Какарека, С. В. Стойкие органические загрязнители: источники и оценка выбросов / С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, В. С. Хомич. – Минск, 2003.
7. Кутепова, Н. А. Изучение отложений золоотвалов ТЭЦ в связи с инженерной подготовкой территории под строительство / Ю. И. Кутепов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2008. – № 1. – С. 14–28.
8. Кухарчик, Т. И. Загрязнение почв урбанизированных территорий Белоруссии полициклическими ароматическими углеводородами / Т. И. Кухарчик [и др.] // Почвоведение. – 2013. – С. 1–9.
9. Лукашев, К. И. Геохимия ландшафт / К. И. Лукашев, В. К. Лукашев. – Минск, 1972.
10. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве : гигиен. нормативы 2.1.7.12-1-2004. Утверждено Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 25 февр. 2004 г. № 28 // Сборник нормативных документов по разделу коммунальной гигиены / Мин-во здравоохранения РБ. – Минск, 2005. – С. 28–45.
11. Полынов, Б. Б. Избранные труды / Б. Б. Полынов. – М., 1956.
12. Почвоведение / И. С. Кауричев [и др.]. – М., 1989.
13. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь: в 3 ч. – Минск, 2005.
14. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск, 2004.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Институт биоорганической химии НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 30.10.2014 г.

**V. С. Хомич, В. А. Рыжиков, П. В. Курман****ЗОЛООТВАЛЫ ТЭЦ КАК ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ  
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ**

Приведены результаты изучения ПАУ в золе и шламе, образующихся при сжигании торфа на ТЭЦ и складируемых в золоотвале вблизи Витебска. Показано, что в золе торфа доминируют летучие низкомолекулярные соединения ПАУ (нафталин, фенантрен, пирен, флуорантрен и аценафтилен). В отходах шлама преобладают высокомолекулярные соединения (хризен, бензо(а)пирен, пирен, бензо(к)флуорантрен, бензо(а)антрацен, бензо(г,х,и)перилен и дibenzo(а,х)антрацен).

В почвах жилой зоны вблизи золоотвала фиксируется высокое содержание ПАУ, среди которых преобладают высокомолекулярные соединения. Приоритетными загрязнителями почв являются нафталин, фенантрен, флуорантрен, бензо(а)антрацен, бензо(а)пирен и бензо(г,х,и)перилен. Загрязнение почв ПАУ вызвано несколькими источниками, среди которых наиболее вероятными являются: внесения печной золы в качестве удобрения, сжигание населением бытовых отходов на приусадебных участках, выпадение пыли вследствие реэмиссии золы с золоотвала и выбросов летучей золы на ТЭЦ в период сжигания торфа.

**V. S. Khomich, V. A. Ryzhikov, P. V. Kurman****ASH DUMPS OF POWER PLANT AS SOURCES OF SOIL CONTAMINATION  
BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS**

The results of the study of PAH content in ash and sludge generated during the peat combustion in power plant which are stored in the ash dump near Vitebsk are given. It is shown that volatile low molecular weight compounds of PAH (naphthalene, phenanthrene, pyrene, fluoranthene and acenaphthene) are dominated in ash. High molecular weight compounds (chrysene, benzo(a)pyrene, pyrene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, dibenzo(a,h)anthracene) are dominated in sludge.

High levels of PAHs in soils of the residential area near the ash dump were revealed. High molecular weight compounds are dominated. Priority pollutants are: naphthalene, phenanthrene, fluoranthene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene and benzo(g,h,i)perylene. Soil pollution is caused by multiple sources of PAHs, the most probable are: use of ash from solid fuel combustion in domestic sector as fertilizer, burning of domestic waste on house gardens, re-emission of ash from the ash dump and fly ash emissions from peat combustion at power plant.

УДК 504.054:550.4(476)

М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ У ОКРАШЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*Приведены результаты изучения содержания тяжелых металлов в почвах в районах индивидуальной застройки г. Лиды. Показано, что содержание свинца, цинка, хрома и кадмия в почвах возле окрашенных поверхностей домов и других построек существенно выше, чем в почвах огородов. Приведены данные о составе лакокрасочных материалов, которые являются вторичными источниками поступления тяжелых металлов в почву.*

Одним из источников загрязнения почв в городах и населенных пунктах тяжелыми металлами, прежде всего свинцом, является краска, содержащая их в своем составе [10–12, 19, 20]. Поступление свинца в почву может осуществляться непосредственно при проведении покрасочных работ, а также вследствие «старения» краски, ее отшелушивания, осыпания и последующего рассеяния. Наиболее подвержены такому загрязнению почвы в районах индивидуальной застройки, где краска используется как для наружных, так и для внутренних работ. Отшелущившаяся краска, загрязненная почва и пыль, содержащие свинец, попадая в дом, на детские площадки, приусадебные участки, в свою очередь, становятся источником его поступления в организм человека, прежде всего детей.

Именно почвы приусадебных участков (*home gardens*) стали объектом пристального внимания еще в 1970-е годы в США, когда была установлена зависимость накопления свинца в крови детей от содержания свинца в краске, используемой для бытовых целей. Проведенные впоследствии исследования были направлены на оценку опасности использования свинецсодержащих красок (*Lead-based paint*) для здоровья людей, выявление уровней накопления свинца в почве возле домов с учетом времени их постройки и состояния [10, 11, 19, 23, 24]. Результаты исследований были положены в основу ряда нормативных законодательных актов, в том числе первого закона, направленного на предотвращение отравления свинецсодержащей краской (*The Lead-Based Paint Poisoning Prevention Act*), который был принят в 1971 г. В 1978 г. в США было запрещено использование краски на основе свинца для бытовых целей, а с 1992 г. введена регламентация работ, связанных с ремонтом, обновлением, сносом зданий, построенных до 1978 г. [17, 18]. Считается, что дома, построенные до 1978 г., до сих пор могут быть источником поступления свинца в окружающую среду.

Кроме свинца краски содержат другие тяжелые металлы (кадмий, хром, цинк, кобальт и другие), что связано с использованием при их производстве таких пигментов, как свинцовый сурик, свинцовые и цинковые кроны, цинковые белила,

фосфат цинка, окись хрома, фосфат хрома и пр. [1, 3, 5]. Указанные элементы и их соединения входят в состав нелетучей части лакокрасочных материалов, поэтому готовая продукция является источником тяжелых металлов и потенциальным загрязнителем окружающей среды.

К настоящему времени во многих развитых странах введены регламенты на содержание свинца, кадмия и хрома в лакокрасочной продукции, ограничены сферы применения свинецсодержащих красок, рассматривается необходимость полного исключения свинца из производственного процесса [13, 14, 21]. С 2009 г. создан Глобальный альянс по ликвидации свинцовых красок, который возглавили Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ).

Несмотря на принимаемые меры, краски, содержащие тяжелые металлы, продолжают использоваться [15, 22]. Так, выполненные нами исследования показали, что в Беларуси при производстве лакокрасочных материалов существенных изменений в объемах и перечне используемых пигментов на основе тяжелых металлов за последние десятилетия не произошло [4]. Это означает, что вероятность поступления тяжелых металлов в почву с краской весьма высока, особенно вблизи окрашенных поверхностей.

Следует отметить, что в Беларуси, как и в других странах СНГ, отсутствуют публикации, посвященные вопросам поступления тяжелых металлов в почву с лакокрасочными материалами.

В данной статье представлены первые результаты исследования загрязнения почв вблизи окрашенных поверхностей, выполненные на примере г. Лиды.

Исследования выполнялись в районах индивидуальной застройки в г. Лида Гродненской области. Предполагалось, что для бытовых целей (окраски поверхностей домов, заборов, других хозяйственных построек) используется преимущественно продукция ОАО «Лакокраска», расположенного в данном городе и являющегося крупнейшим в Беларуси предприятием по производству лакокрасочных материалов.

Отбор проб почв осуществлялся возле окрашенных поверхностей (домов, реже – забо-

ров), а также с огородов. В первом случае отбирался поверхностный горизонт почв с глубины 0–2 или 0–5 см, во втором – с глубины 0–10 см. Всего было отобрано и проанализировано по 17 проб почв. Кроме того, были отобраны две пробы краски со старых окрашенных поверхностей (стен домов).

Содержание тяжелых металлов определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии; анализировалось валовое содержание свинца, цинка, кадмия, меди, хрома и никеля. В 9 пробах анализировалось содержание подвижных форм цинка, свинца и хрома.

Для оценки опасности загрязнения почв использованы значения ПДК/ОДК в соответствии с [6, 7].

Основные параметры распределения тяжелых металлов в пробах почв, отобранных у окрашенных поверхностей и на огородах в райо-

нах индивидуальной застройки в г. Лиде, приведены в табл. 1.

Сравнение двух выборок проб почв (отобранных у окрашенных поверхностей и на огородах) показало, что в первом случае содержание тяжелых металлов существенно выше. Так, максимальное зафиксированное содержание свинца в почве у окрашенных поверхностей составило 342,5 мг/кг, на огородах – 208,7 мг/кг, цинка соответственно 1142,9 и 263,3 мг/кг, кадмия – 11,3 и 0,87, хрома – 116,7 и 30,7, меди – 243,3 и 38,1 мг/кг. Существенно различаются и средние значения: по свинцу – в 3,1 раза, цинку – в 2,8, кадмию – 1,7, хрому – в 2, по меди – в 1,6 раза. Значимость различий между средним содержанием в почвах свинца и цинка в двух выборках подтверждена статистически. Различия между средним содержанием хрома, кадмия, меди и никеля в почвах у окрашенных поверхностей и на огородах статистически незначимы.

**Таблица 1. Параметры валового содержания тяжелых металлов в почвах огородов и у окрашенных поверхностей в г. Лиде**

Место отбора проб, кол-во проб	Параметр	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Ni
У окрашенных поверхностей, 17	Минимум, мг/кг	23,3	70,3	Н.о.	3,4	10,4	1,9
	Максимум, мк/кг	342,5	1142,9	11,3	116,7	243,3	3,8
	Среднее, мг/кг	133,1	397,5	1,5	39,4	30,6	2,6
	Стандартное отклонение	110,8	302	2,6	37,3	55,4	0,7
	Коэффициент аномальности*	11,1	11,4	15	2,6	2,4	0,1
	Доля проб с превышением ПДК, %	88	100	82	6	11	0
На огородах, 17	Минимум, мг/кг	15,6	46,5	Н.о.	2,3	6,8	2,1
	Максимум, мг/кг	208,7	263,3	1,36	30,7	38,1	2,9
	Среднее, мг/кг	42,7	142,7	0,87	19,5	19,2	2,4
	Стандартное отклонение	43,9	64,4	0,3	11,4	7,8	0,3
	Коэффициент аномальности*	3,6	4,1	8,7	1,3	1,5	0,1
	Доля проб с превышением ПДК, %	56	94	94	0	6	0

\* Усредненное значение.

Анализ распределения тяжелых металлов в почвах в пределах одних и тех же участков показал, что максимальные различия в содержании свинца у окрашенной стены и на огороде достигают 22 раз, цинка – 9, кадмия – 11 раз.

В среднем коэффициенты аномальности для свинца, цинка и кадмия в пробах почв у окрашенных поверхностей составляют 11–15, что значительно выше для городских почв в целом [2, 9].

Полученные результаты существенно дополняют общее представление об уровнях накопления тяжелых металлов в почвах урбанизированных территорий, а также о неоднородности и контрастности формируемых полей загряз-

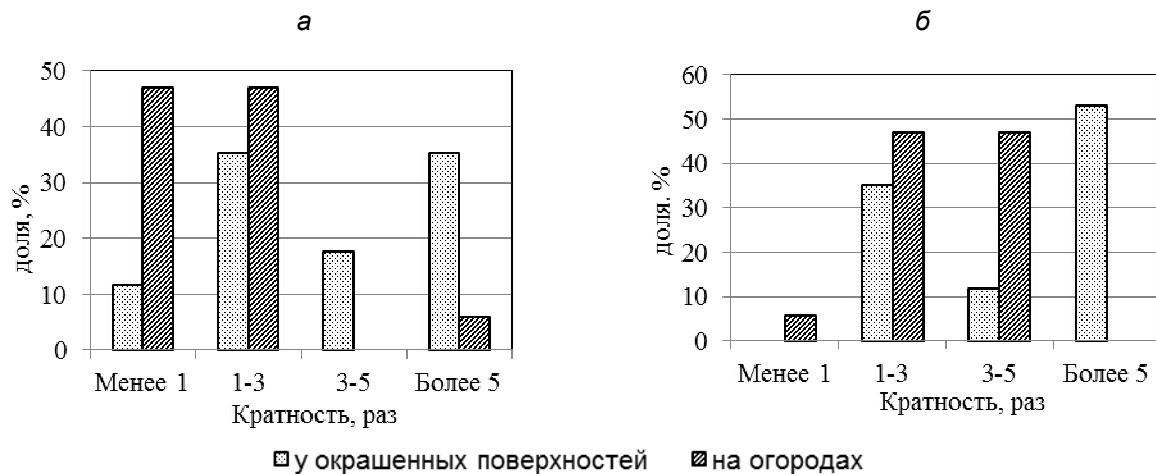
нения. Например, по данным результатов Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), уровни содержания тяжелых металлов в почвах г. Лиды в 2000–2012 г. варьировались в следующих диапазонах: свинца – 6,6–73,4 мг/кг, цинка – 11,5–137, кадмия – 0,07–1,2, меди – 1,4–23, никеля – 2,2–11,9 мг/кг [8].

Установлено, что в большинстве проб почв, отобранных в районах индивидуальной застройки г. Лиды, содержание свинца, цинка и кадмия превышает установленные нормативы. При этом у окрашенных поверхностей по сравнению с огородами значительно выше доля проб, где кратность превышения ПДК достигает 5 раз и более. Например, содержание свинца более 5 ПДК

(160 мг/кг и выше) и цинка (более 275 мг/кг) зафиксировано в 35 и 52% проб почв, отобранных у окрашенных поверхностей (рис. 1). Максимальное превышение ПДК свинца составляет 11 раз, цинка – 21 раза. В двух пробах превышены так называемые показатели «international value» по цинку, рекомендуемые в ряде европейских стран

как предельные для принятия мер по очистке почв.

Об опасности загрязнения почв тяжелыми металлами в районах индивидуальной застройки свидетельствуют также данные о содержании подвижных форм исследованных элементов (табл. 2).



**Рис. 1. Распределение проб почв по уровням содержания тяжелых металлов в отношении:**  
а – к ПДК для свинца; б – к ОДК для цинка

**Таблица 2. Параметры содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах огородов и вблизи окрашенных поверхностей в г. Лиде**

Место отбора проб, кол-во проб	Параметр	Pb	Zn	Cr
У окрашенных поверхностей, 6	Минимум, мг/кг	4,4	32,6	Н.о.
	Максимум, мк/кг	48,7	179,3	7,0
	Среднее, мг/кг	18,8	111,5	2,3
	Стандартное отклонение	18,3	60,7	3,0
	Доля проб с превышением ПДК, %	67	100	17
На огородах, 3	Минимум, мг/кг	3,4	39,0	Н.о.
	Максимум, мк/кг	10,3	111,6	Н.о.
	Среднее, мг/кг	6,5	81,4	–
	Стандартное отклонение	3,5	37,9	–
	Доля проб с превышением ПДК, %	33	100	0

Как и в отношении валового содержания тяжелых металлов, имеют место различия в содержании их подвижных форм для двух выборок проб. Среднее содержание подвижного свинца в почвах у окрашенных поверхностей составляет 18,8 мг/кг при максимальном значении 48,7 мг/кг, на огородах – соответственно 6,5 и 10,3 мг/кг. Среднее содержание подвижного цинка в почвах у окрашенных поверхностей оценивается в 111,5 мг/кг, на огородах – 81,4 мг/кг, максимальные значения составляют соответственно 179,3 и 111,6 мг/кг.

Во всех случаях превышены ПДК по подвижному цинку и в значительном количестве проб – по свинцу.

Доля подвижных форм для цинка составляет 5–43 % в пробах у окрашенных поверхностей и 22–48 % в пробах с огорода; для свинца 5–26 и 12–27 % соответственно. Приведенные

значения сопоставимы с данными для других типов загрязненных городских почв [9]. Это означает, что в ряде случаев почти половина валового содержания свинца и цинка находится в доступной для растений форме и представляет потенциальную опасность с точки зрения их накопления в выращиваемой продукции и последующего поступления в организм человека.

Полученные результаты свидетельствуют о высоких уровнях загрязнения почв в целом в районах индивидуальной застройки г. Лиды, а также о формировании более интенсивных геохимических аномалий у окрашенных поверхностей. Представляется, что такие аномалии неширокой полосой могут оконтуривать окрашенные здания по периметру. По данным американских исследований, наибольшие уровни загрязнения формируются в полосе до 10 футов (примерно до 3 м) [25].

Источником поступления тяжелых металлов в почву здесь может являться краска, что подтверждается выполненными нами исследо-

ваниями двух проб, отобранных со старых окрашенных поверхностей (табл. 3).

**Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в красках со старых окрашенных поверхностей (стен деревянных домов), мг/кг сухой краски**

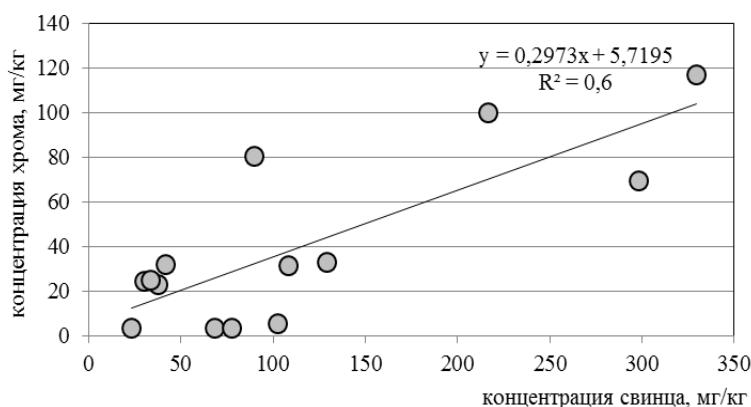
Номер образца	Цвет краски	Свинец	Цинк	Кадмий	Медь	Хром	Суммарное содержание
Образец 1	Нижний слой – красная Верхний слой – синяя	2836	45 833	4,7	108,3	3142	51 925
Образец 2	Слои зеленой, голубой и белой краски	8750	14 741	5,1	5429,8	15 833	44 759

Представленные в таблице данные свидетельствуют о высоком содержании в использованных ранее красках не только свинца, но и цинка, меди, кадмия, хрома. Смешанные пробы, сформированные из нескольких слоев красок, не позволяют отдельно выделить свинецсодержащие краски. Они лишь характеризуют окрашенные поверхности как вторичный потенциальный источник различных тяжелых металлов.

На поступление тяжелых металлов в почву именно с окрашенной поверхности, т. е. с отшелушившейся краской, указывают данные корреляционного анализа между содержанием в почве свинца и хрома, для которых выявлена статистически значимая линейная связь (рис. 2). Согласно [9], хром относится скорее к специфическим загрязняющим веществам, чем к

типовыми, и явные источники его поступления в почву вне промышленных районов неизвестны. В то же время его содержание в лакокрасочных материалах весьма высоко.

В современных красках, используемых в Беларуси, также следует ожидать высоких концентраций тяжелых металлов. Косвенным подтверждением этого является тот факт, что начиная с 1990 г. при производстве лакокрасочных материалов в Беларуси практически не изменился среднемноголетний расход пигментов, содержащих тяжелые металлы [9]. Доминирующими по объему использования по-прежнему являются пигменты на основе свинца и цинка, на долю которых приходится соответственно 31–42 и 39–53 % от общего объема используемых пигментов, содержащих тяжелые металлы.



**Рис. 2. Связь между содержанием свинца и хрома в поверхностном горизонте почв у окрашенных поверхностей**

Выполненные под эгидой Международной сети по ликвидации СОЗ (IPEN) и индийской организации Toxics Link экспериментальные исследования подтверждают высокое содержание свинца в красках, производимых в разных странах, в том числе в Беларуси. По данным [13, 16], из 22 проб эмалевых красок, выпускающихся в Беларуси, почти в 70 % случаев содержание свинца превышало уровень 600 мг/кг. Кроме того, были зафиксированы концентрации свинца на уровне 0,7 %. Отметим, что Директивой ЕС по ограничению опасных веществ в 2003 г. установлен верхний предел содержания свинца в крас-

ках (0,1 %) с постепенным отказом от использования данного тяжелого металла при производстве лакокрасочной продукции. В США уровень максимального содержания свинца в краске с 2009 г. определен в 0,009 % [13].

В целом сказанное выше свидетельствует о важности развития исследований, касающихся лакокрасочных материалов как потенциальных источников загрязнения почв.

Выполненные исследования на примере г. Лиды позволили выделить существенный источник поступления тяжелых металлов в почву в районах индивидуальной застройки – краску с

окрашенных поверхностей. Исследования показали не только высокие уровни содержания свинца, цинка, кадмия, хрома и меди в почве у окрашенных поверхностей и на близлежащих огородах, но и контрастный характер распределения загрязняющих веществ.

Тяжелые металлы могут поступать в почву как в результате естественного старения краски и ее отшелушивания, так и при намеренном ее удалении при ремонте зданий и повторном окрашивании поверхностей.

Известно, что во многих городах и населенных пунктах Беларусь преобладает (по площади) частная застройка, где широко используются лакокрасочные материалы. Опасность загрязнения почв тяжелыми металлами в районах индивидуальной застройки обусловлена, с одной стороны, возможностью попадания загрязняющих веществ в выращиваемые сельскохозяйственные культуры, с другой – непосредственно го попадания старой краски и пыли на ее основе,

а также загрязненной почвы в организм человека. Особого внимания заслуживают старые постройки, где вероятность использования свинец-содержащей краски наибольшая. Однако, поскольку в Беларусь содержание тяжелых металлов в красках не регламентировано, можно ожидать их поступления в почву с окрашенных поверхностей независимо от времени покраски. Несомненно, нельзя исключить другие источники поступления тяжелых металлов в почву, в том числе смыв с оцинкованных поверхностей крыш, выпадение аэрозолей, рассеивание золы от сжигания топлива.

Проведенные исследования являются первым (начальным) этапом решения задачи, направленной на оценку техногенной нагрузки тяжелых металлов на почвы в местах использования лакокрасочных материалов, выявление площади наиболее загрязненных участков, а также на оценку опасности загрязнения почв.

## Литература

1. **Андрющкая, О. М.** В фокусе конференции – сырье для производства ЛКМ / О. М. Андрющкая // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2012. – № 4. – С. 30–36.
2. **Городская среда: геоэкологические аспекты** / В. С. Хомич [и др.]. – Минск, 2013.
3. **Индейкин, Е. А.** Пигментирование лакокрасочных материалов / Е. А. Индейкин, Л. Н. Лейбзон, И. А. Толмачев. – Л., 1986.
4. **Козыренко, М. И.** Эколого-геохимическая оценка трансформации почв в зоне воздействия лакокрасочного производства : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.03.13 / М. И. Козыренко. – Минск, 2013.
5. **Лившиц, М.Л.** Лакокрасочные материалы: справ. пособие / М. Л. Лившиц, Б. И. Пшиялковский. – М., 1982.
6. **Нормативы** предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов: приложение к пост. М-ва здравоохранения Республики Беларусь № 125 от 19.11.2009.
7. **Перечень** предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы 2.1.7.12–1–2004. – утв. пост. Глав. гос. санит. врача РБ 25.02.2004 № 28 / М-во здравоохранения РБ. – Минск, 2004.
8. **Состояние** природной среды Беларусь : экол. бюл., 2012 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2013.
9. **Экогоехимия** городских ландшафтов Беларусь / В. С. Хомич [и др.]. – Минск, 2004.
10. **Bogden, J. D.** Soil contamination from Lead in Paint Chips / J. D. Bogden, D. B. Luria // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 1975. – Vol. 14, Issue 3. – P. 289–294.
11. **Burgoon, D. A.** Literature Review of sources of Elevated soil-lead concentrations / D. A. Burgoon, S. F. Brown, R. G. Menton // Lead in Paint, Soil and Dust: Health Risks, Exposure Studies, Control Measures, Measurement Methods, and Quality Assurance. American Society for Testing and Materials. – Philadelphia, 1995. – P. 76–91.
12. **Clark, C. S.** Lead in Paint and Soil in Karnataka and Gujarat, India / C. S. Clark [et al.] // J. Occup. Environ. Hyg. – 2005. – № 2(1). – P. 38–44.
13. **Double Standard. Investigating Lead (Pb) Content In Leading Enamel Paint Brands In South Asia.** – New Delhi: Toxics Link, 2011.
14. **Hexavalent Chromium** // Occupational Safety and Health Administration. US Department of Labor, 2009.
15. **Lead** in Enamel Decorative Paints: National Paint Testing Results: a Nine Country Study. IPEN, UNEP. 2013. [Electronic resource]. Mode of access : // [http://www.ipen.org/sites/default/files/documents/lead\\_in\\_enamel\\_decorative\\_paints-en.pdf](http://www.ipen.org/sites/default/files/documents/lead_in_enamel_decorative_paints-en.pdf). – Date of access : 15.07.2014.
16. **Lead** in New Decorative Paints: report / Toxics Link, IPEN. [Electronic resource]. – 2009. Mode of access : [http://www.ipen.org/penweb/documents/work%20documents/global\\_paintstudy.pdf](http://www.ipen.org/penweb/documents/work%20documents/global_paintstudy.pdf). – Date of access : 10.05.2012.
17. **Lead**: Identification of Dangerous Levels of Lead / 40 CFR Part 745 // Federal Register / Vol. 66, No. 4 / Friday, January 5, 2001 / Rules and Regulations.

18. **Lead-Based Paint Poisoning Prevention in Certain Residential Structures** 40 CFR Part 745. [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=d0541d992aaaf320c3bf65de5f79e610b&n=pt40.31.745&r=PART&t=HTML> September 25, 2014. – Date of access : 15.07.2014.
19. **Marcus, A.** Estimating the Contribution of Lead-based Paint to Soil Lead, Dust Lead and Childhood Blood Lead / A. Marcus, R. Elias // Lead in Paint, Soil and Dust: Health Risks, Exposure Studies, Control Measures, Measurement Methods, and Quality Assurance. American Society for Testing and Materials. – Philadelphia, 1995. – P.12–23.
20. **Marcus, J.** A Review of the contamination of soil with Lead. Origin, Occurrence and Chemical Form of Soil Lead / J. Markus, A.B. McBratney // Progress in Environmental Science, 2,4. – 2000. – P. 291–318.
21. **New Cadmium Restrictions under REACH** [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.bureauveritas.com/wps/wcm/connect/4df96600484b05689505f737223d7921> Bulletin 11B-126.pdf. – Date of access: 02.10.2013.
22. **Report** of the second meeting of the Global Alliance to Eliminate Lead Paint / Second meeting of the Global Alliance to Eliminate Lead Paint/ UNEP(DTIE Chemicals) / WHO(PHE) /GAELP/2. – Bangkok, 9–11 July 2012.
23. **Requirements** for Notification, Evaluation and Reduction of Lead-Based Paint Hazards in Federally Owned Residential Property and Housing Receiving Federal Assistance; Final Rule // 24 CFR. – 1999. – Part 35.
24. **Staes, C.** Does Residential Lead-Based Paint Hazard Control Work? / C. Staes, R. Rinehart // A Review of the Scientific Evidence. The National Center for Lead-Safe Housing, 1995.
25. **Ter Haar, G.** New information on lead in dirt and dust as related to the childhood lead problem / G. Ter Haar, R. Aronow // Environ. Health Perspect. – 1974. – № 7. – P. 83–89.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 25.09.2014 г.

**М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик**

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ  
У ОКРАШЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Исследованы почвы в районах индивидуальной застройки в местах использования лакокрасочных материалов и на огородах. Показано, что вблизи окрашенных поверхностей формируются локальные геохимические аномалии, возникновение которых связано с поступлением в почвы тяжелых металлов, входящих в состав лакокрасочных материалов. Содержание свинца и цинка в почвах у окрашенных поверхностей выше фоновых значений, в среднем, в 11 раз, кадмия – в 15, хрома – в 3, меди – в 2 раза. Высока доля проб с превышением предельно допустимых уровней как в почвах огородов, так и возле окрашенных поверхностей. Об опасности загрязнения свидетельствуют также данные о содержании в почвах подвижных форм тяжелых металлов. Результаты исследований могут быть использованы для оценки техногенной нагрузки на почвы в местах использования лакокрасочных материалов.

**M. I. Kazyrenka, T. I. Kukcharchyk**

**SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS  
NEAR PAINTED BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS**

Soils in individual building zones in places of paint and varnish materials use and in gardens are studied. It is shown that local geochemical anomalies are formed near painted surfaces due to heavy metals inflow to soils from paint and varnish materials. Lead and zinc content in soils near painted surfaces is in average 11 times higher than background levels, cadmium – 15, chromium – 3, copper – 2 times. Share of samples with exceeding of maximum permissible levels in garden soils and places near painted surfaces is high. The data on heavy metals mobile forms is also the evidence of hazard. The results of investigations can be used for the assessment of anthropogenic load on soils in places of paint and varnish materials use.

**Л. Ю. Сорокина**

## **ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ «ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ УКРАИНЫ»**

*Изложены принципы организации и охарактеризованы основные блоки базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины». Природно-антропогенные процессы систематизированы в соответствии с классификациями их природных процессов-аналогов, проанализированы особенности их проявления в различных ландшафтных условиях Украины. Рассмотрены направления использования предлагаемой базы данных при прогнозировании антропогенно обусловленных изменений в ландшафтах регионального и локального уровней.*

Исследования, посвященные выявлению и прогнозу изменений ландшафтов в результате антропогенных нагрузок, несмотря на многолетний опыт таких работ, сохраняют свою актуальность. Это связано с появлением новых видов и территориальных сочетаний техногенных воздействий на ландшафты, с формированием в Украине новых геоэкологически проблемных регионов. Усовершенствование технических и методических возможностей проведения геоэкологических исследований обуславливает необходимость разработки новых исследовательских приемов изучения изменений в ландшафтах, обоснования прогноза развития в них природно-антропогенных процессов.

Разносторонним аспектам исследования зон техногенеза [13, 14] посвящены работы М. А. Глазовской, Н. Ф. Глазовского, А. В. Дончевой, К. Н. Дьяконова, Т. В. Звонковой, Л. К. Казакова, Н. С. Касимова, Т. И. Кухарчик, Э. А. Лихачевой, В. П. Палиенко, В. И. Федотова, В. С. Хомича и многих других географов. Результаты ландшафтоведческого изучения техногенно нарушенных территорий Украины освещены в работах В. С. Давыдчука, Г. И. Денисика, Е. А. Иванова, Л. Л. Малышевой, А. В. Мельника, Е. А. Позаченюк, Ю. Г. Тютюнника, П. Г. Шищенко и др.

При рассмотрении зон техногенеза как природно-антропогенных систем учитывается, что их формирование происходит посредством развития в ландшафтах тех или иных природно-антропогенных процессов.

*Природно-антропогенные процессы определяются как опосредованное последствие хозяйственной деятельности человека, которое вызывает или же усиливает / ослабляет развитие природных процессов [12, 14, 24]. По данным [18], скорость современных антропогенных и антропогенно-возбужденных процессов часто на порядок, а то и больше превышает скорость природных процессов.*

*Природные процессы – очень широкое понятие, их различные виды изучаются многими научными дисциплинами. В рамках нашего ис-*

следования рассматриваются природные процессы, протекающие в ландшафтной оболочке и «заключающиеся в изменении количества вещества и энергии, формы и других свойств компонентов ландшафта или его территориальных единиц» [1]. Приведенное определение природных (физико-географических) процессов близко к понятию функционирования ландшафтов как «совокупности всех происходящих в них процессов перемещения, обмена и трансформации энергии и вещества...» [10, с. 304]. Функционирование современных ландшафтов тесно связано с антропогенными воздействиями на них и является результатом кумулятивного проявления природных и природно-антропогенных процессов.

Целью статьи является обоснование принципов систематизации данных о природно-антропогенных процессах в виде базы данных (БД), предназначенный для комплексного изучения и прогнозирования антропогенно обусловленных изменений ландшафтов.

**Принципы организации и структура базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины».** Исследовательские принципы, на которых основано изучение антропогенных изменений ландшафтов, в том числе развития природно-антропогенных процессов в них, – это учет индивидуальности природы ландшафтно организованной земной поверхности, ее пространственно-временной иерархической структуры, причинно-следственных взаимосвязей между отдельными компонентами ландшафтов, а также между природными компонентами ландшафтов и антропогенными элементами, принципы историчности, системности. Соответственно при формировании базы данных «Природно-антропогенные процессы...» учитываются взаимосвязи природных и природно-антропогенных процессов, зависимости возникновения последних от характера техногенных воздействий на ландшафт, особенности пространственного проявления природных и природно-антропогенных процессов в зависимости от ландшафтных условий территории и уже

существующих антропогенных нагрузок на ландшафты.

Структура базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины» (рис. 1), разрабатываемой с использованием стандартных программ (Excel, Access), ориентирована на анализ информации о природно-антропогенных процессах и на прогноз изменений природных механизмов формирования и развития ландшафтов в результате хозяйственной деятельности человека. Блоки «Ландшафты» и «Природные процессы» рассматриваются

как базовые и равнозначные, поскольку ландшафты являются продуктом действия природных процессов (геологических, геоморфологических, гидро-климатических и др.), проявляющихся в различных ландшафтных условиях, и в то же время современное развитие природных и природно-антропогенных процессов определяется ландшафтными условиями территории. Информация этих двух блоков служит основой для систематизации и представления данных о природно-антропогенных процессах и связанных с ними изменениях в ландшафтах.

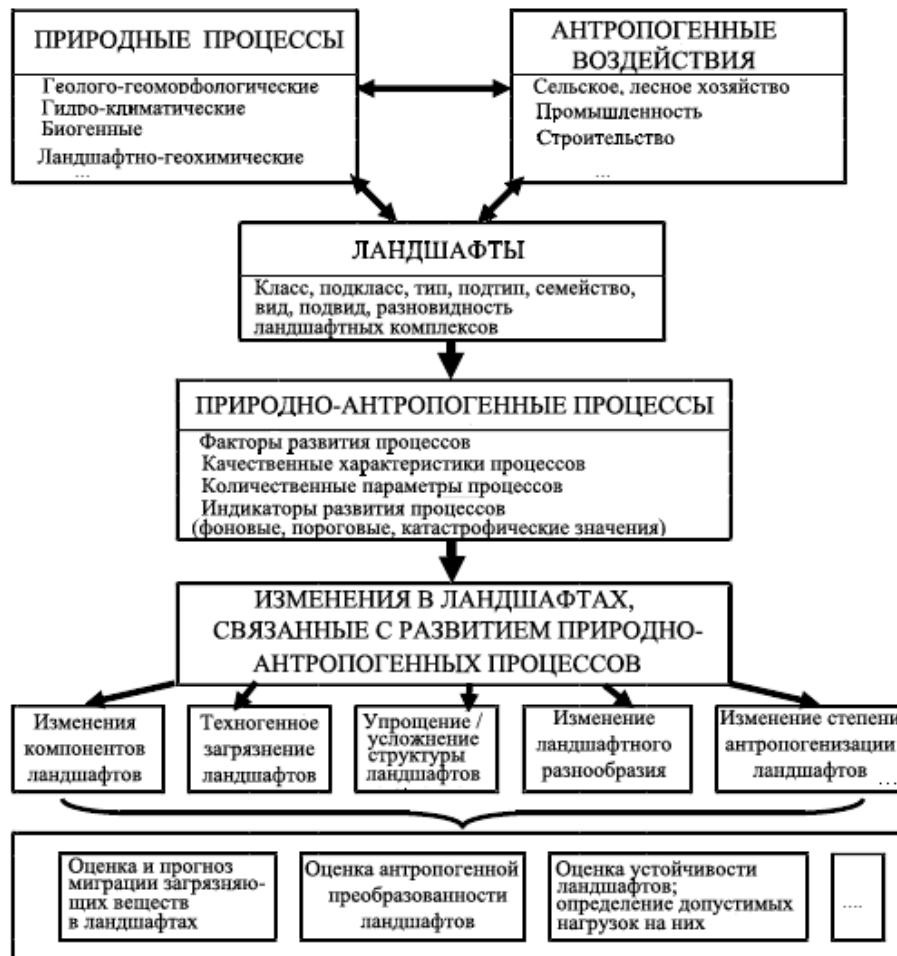


Рис. 1. Основные блоки базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины» и направления ее использования

**Блок «Ландшафты»** содержит данные о разноранговых ландшафтных комплексах Украины. Для их систематизации (табл. 1) использована единая классификация природных и антропогенно измененных ландшафтов Украины [23], предложенная на основе обобщения имеющихся классификаций ландшафтов (работы А. Г. Исаченко, В. А. Николаева, Ф. Н. Милькова, А. М. Маринича, П. Г. Шищенко, В. М. Пащенко, А. В. Мельника, Е. А. Позаченюк и др.).

В соответствии с указанными в табл. 1 критериями классификации антропогенно изме-

ненные ландшафты выделяются на уровнях типа (при замене зональной лесной растительности на агроценозы), вида/подвида (при техногенных изменениях литогенной основы и/или фитокомпонента ландшафта) и разновидности ландшафтов (при антропогенно обусловленных изменениях одного или нескольких компонентов ландшафта). Информация об антропогенно измененных ландшафтах также представлена в предлагаемой БД.

При анализе антропогенных изменений ландшафтов целесообразно оперировать данными

ми о ландшафтных комплексах, представленных на классификационных уровнях от типа до вида – для всей Украины, вида и подвида – при региональных, подвида и разновидности – при локальных исследованиях. Содержание и детальность характеристик ландшафтных комплексов каждого из выделенных классификационных уровней также представлены в табл. 1. В БД включена информация, представленная на ландшафтной карте Украины (масштаб 1:2 500 000), где ландшафтные комплексы систематизированы в 2 класса, 6 типов, 38 родов и 157 видов [16].

Наиболее полная информация о природных и антропогенно измененных ландшафтных комплексах на уровне подвид ландшафта (местность) представлена на среднемасштабной (1 : 500 000) ландшафтной карте Украины, которая разрабатывается в Институте географии НАНУ как открытая геоинформационная система. Продуктивным информационным обеспечением БД о ландшафтных комплексах на уровнях подвид, разновидность (местность, урочище) являются средне- и крупномасштабные ландшафтные ГИС-карты отдельных регионов Украины.

**Таблица 1. Классификационные уровни ландшафтов [23], представленных в базе данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины»**

Классификационные уровни	Критерии выделения	Примеры характеристики ландшафтных комплексов соответствующих классификационных уровней
Класс	Приуроченность к материальным геотектоническим, определяющим характер зональности или вертикальной поясности ландшафтов	Равнинные, предгорные, горные
Подкласс	Расположение в определенных интервалах высот	Равнинные возвышенные и низменные. Предгорные низко- и средневысотные. Низко-, средне- и высокогорные
Тип	Комплекс факторов ландшафтной дифференциации: зональные климатические условия (ведущий фактор), состав поверхностных отложений, зональные характеристики почвенно-растительного покрова	Хвойно-широколиственнолесные, широколиственнолесные, лесостепные, степные (в пределах равнинной Украины)
Подтип	Тепловой режим и условия увлажнения; смена доминирующих подтипов почвы	Северо-, средне- и южностепные (сухостепные) в пределах степной зоны
Род	Комплекс зональных и азональных факторов – принадлежность к частям морфоструктур I порядка, расположенным в пределах той или иной природной зоны	Широколиственнолесные ландшафты пластово-денудационных лессовых возвышенностей
Семейство	Принадлежность к морфоструктуре II порядка, единство генетического типа рельефа, однородность почвообразующих пород, сходство доминирующих урочищ	Возвышенности и низменности на меловых отложениях, перекрытых маломощным покровом четвертичных отложений (ландшафты Волынского Полесья)
Вид (ландшафт)	Единство геологического фундамента, однотипный рельеф, одинаковое сочетание гидротермических условий, почв, биоценозов	Лесовые возвышенности, эрозионно расчлененные, с серыми и темно-серыми оподзоленными почвами, с грабовыми дубравами
Подвид (местность)	Отличия в литогенной основе ландшафта	Равнины пониженные, выровненные, сложенные водноледниковыми песками, с дерновыми и дерново-подзолистыми оглеенными песчаными почвами, под свежими и влажными субборями, расчлененные заболоченными лошинами и поймами ручьев, с песчаными дюнами и заболоченными западинами
Разновидность (урочище)	Однородность почвообразующих пород и почвенно-растительного покрова, направленности и интенсивности современных природных процессов	Западины в маломощных водноледниковых песках, с дерновыми глеевыми супесчаными почвами, под сырьими субборями и вторичными осиново-березово-сосновыми лесами

**Блок «Природные процессы»** содержит информацию о процессах различного генезиса, для чего использованы генетические классификации

геолого-геоморфологических [18], климатических [11], биогенных [9, 20, 26], ландшафтно-geoхимических [2, 15, 19] природных процессов.

Поскольку физическая сущность механизмы развития а также критерии и принципы построения классификаций процессов различного генезиса существенно различаются, для них формируются отдельные подблоки БД. В каждом из них кроме перечня природных процессов того или иного генетического типа представлены их характеристики – данные о факторах, влияющих на развитие природных процессов, о качественных и количественных параметрах процессов. Также систематизированы фоновые, пороговые и катастрофические значения показателей проявления процессов, представлена информация о методах исследования и способах измерения их параметров. Эти данные актуальны и при изучении соответствующих природно-антропогенных процессов. В отдельной рубрике указаны источники (литературные, фондовые и др.), из которых получена та или иная информация.

Для геолого-геоморфологических процессов выделены группы, подгруппы, генетические типы; каждый тип включает перечень соответствующих природных процессов [18]. Анализу геолого-геоморфологических процессов и их антропогенно обусловленных вариантов уделено особое внимание как одним из наиболее важных с точки зрения влияния на изменения ландшафтов. В этом подблоке БД приводятся данные о факторах, определяющих развитие процессов, указаны качественные и количественные параметры (например, скорости, площади охвата территории, объемы вовлекаемого материала и др.), единицы измерения и другие характеристики проявления геолого-геоморфологических процессов с учетом их дифференциации для ландшафтов зонального, регионального и локального уровней. Актуальным для условий Украины является учет дифференциации геоморфологических процессов на обусловленные зональными факторами развития и строением поверхностных отложений (например, карстовые, гравитационные, эрозионные и др.) и азональные. К последним относятся флювиальные процессы, обусловленные постоянными водотоками. Их роль чрезвычайно важна в формировании транзитных потоков, а также в водообеспечении регионов, испытывающих недостаток атмосферного увлажнения. Такие процессы традиционно испытывают значительные и разнообразные антропогенные изменения, которым должно быть уделено особое внимание.

В базе данных представлена информация об основных климатических процессах теплобмена, влагообмена и атмосферной циркуляции и их параметрах (например, зональные и региональные показатели температурного режима, количества осадков, гидротермического коэффициента, радиационного индекса сухости и др.). Именно климатические процессы определяют особенности проявления многих других природ-

ных и природно-антропогенных процессов в различных ландшафтных условиях Украины [11]. Также включены сведения о неблагоприятных атмосферных явлениях, о процессах формирования мезо- и микроклиматических условий, что особенно важно для оценки изменений в ландшафтах регионального и локального уровней.

Из многообразных биогенных процессов в базе данных представлены процессы, связанные с естественным развитием почвенно-растительного покрова, которые наиболее подвержены антропогенному воздействию и играют важную роль в изменении ландшафтов Украины. В их числе рассматриваются наиболее характерные элементарные процессы почвообразования: биогенно-аккумулятивные, метаморфические, гидрогенно-аккумулятивные, оглеение, оподзоливание и др. Как актуальные для анализа изменения и восстановления техногенно нарушенных ландшафтов рассматриваются процессы сукцессий и сингенеза растительности [20, 26].

Ландшафтно-геохимические процессы систематизированы в соответствии с классификацией видов миграции (механической, физико-химической, биогенной), в зависимости от направления потоков природных и техногенных химических элементов и зон их аккумуляции (латеральная, радиальная миграция, формирование ландшафтно-геохимических барьеров). Параметры, использованные для характеристики ландшафтно-геохимических процессов и результатов их проявления в ландшафтах, – это кларки концентрации элементов, коэффициенты концентрации и накопления, предельно допустимые концентрации элементов и др. Для анализа факторов развития этих процессов в различных ландшафтных условиях в БД использованы сведения о ландшафтно-геохимической структуре Украины [15, 17].

**Блок «Антрапогенные воздействия»** включает перечень воздействий на ландшафты, которые являются причиной возникновения и развития природно-антропогенных процессов. Они систематизированы в соответствии с основными видами хозяйственной деятельности. В отдельную группу выделено химическое загрязнение ландшафтов и их компонентов, которое связано с горнодобывающим, химическим, металлургическим и другими видами промышленного производства, внесением минеральных и органических удобрений. Химическое воздействие на ландшафты проявляется, как правило, в комплексе с другими видами антропогенных нагрузок. В БД представлены характеристики основных химических элементов-загрязнителей (их влияние на организм человека, миграционные свойства, региональные фоновые значения содержания элементов в компонентах ландшафта, предельно допустимые концентрации и др.).

**Блок «Природно-антропогенные процессы»** включает информацию о природно-антропогенных процессах в соответствии с их природными инвариантами и ландшафтными предпосылками развития. Это позволяет анали-

зировать причины возникновения и прогнозировать возможности проявления таких процессов на основании информации об условиях и закономерностях развития соответствующих природных процессов-аналогов (табл. 2).

**Таблица 2. Основные природно-антропогенные процессы, развивающиеся в ландшафтах Украины (с использованием данных [9, 11, 15, 18–20])**

Группы природных процессов		Природно-антропогенные процессы
<i>Геолого-геоморфологические процессы</i>		
Флювиальные		Техногенно обусловленная и активизированная плоскостная эрозия, ускоренная линейная эрозия; прекращение или ослабление интенсивности пойменных процессов; сокращение площади поймы
Селевые		Техногенно обусловленные и активизированные сели
Гравигенные		Техногенно обусловленные и активизированные оползни и оплывины, обвалы, осьпи, обрушение породы, просадки
Эоловые		Техногенно обусловленные и активизированные дефляция, ветровая эрозия
Карстовые		Интенсификация карстовых и карстово-суффозионных процессов, снижение уровня подземных вод
<i>Климатические процессы</i>		
Процессы теплообмена		Техногенно обусловленные изменения (уменьшение) продолжительности солнечного сияния, потеря прямой солнечной радиации
Процессы влагообмена		Изменение испарения и количества осадков, уменьшение влажности воздуха (в сравнении с загородной территорией)
<i>Гидрологические процессы</i>		
Формирование гидрологического режима и уровня грунтовых вод		Техногенно обусловленные высокие подъемы воды во время паводков и наводнений; уменьшение расхода воды, зарегулированность стока
		Заболачивание, подтопление (в том числе за счет шахтных вод)
<i>Биогенные процессы</i>		
Почвообразование		Вынос гумуса, других органических и минеральных веществ из почв
		Аккумуляция техногенных элементов в почвенном покрове
		Засоление почв
		Усадка торфа, минерализация торфяной толщи
		Формирование реентных почв на техногенно нарушенных породах
Сукцессии и сингенез растительности		Антропогенная и постантропогенная трансформация растительных группировок
		Возникновение и развитие растительности на отвалах, терриконах
<i>Ландшафтно-геохимические процессы</i>		
Латеральная миграция веществ		Поступление в атмосферу, перенос, осаждение (поглощение) загрязнителей аэральным и водным путем (формирование первичного поля загрязнения)
		Латеральная миграция и аккумуляция загрязнителей водным, воздушным, биогенным путем (формирование вторичного поля загрязнения)
Радиальная миграция веществ		Радиальная миграция загрязнителей водным, биогенным путем (по профилю почв), поступление загрязнителей в подземные воды
Аккумуляция веществ на ландшафтно-геохимических барьерах		Фиксация, превращение в недоступную для растений форму, изъятие из миграционных процессов загрязнителей на орографических, фитохимических, педохимических и техногенных ландшафтно-геохимических барьерах

**Блок «Изменения в ландшафтах, связанные с развитием природно-антропогенных процессов»** содержит данные о последствиях проявления каждого из природно-антропогенных процессов в различных ланд-

шафтных условиях. Информационное обеспечение этого блока наиболее трудоемко. Оно требует анализа и обработки значительного количества опубликованных, фондовых материалов, результатов собственных исследований, позво-

пляющих обобщить данные об особенностях развития природно-антропогенных процессов в зависимости от ландшафтных условий.

**Направления использования базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины».** Оперирование информацией, обобщенной в БД «Природно-антропогенные процессы...», позволяет проанализировать особенности их развития в различных ландшафтных условиях. Приведенные в табл. 3 сведения иллюстрируют особенности реакции ландшафтов, характерных для различных природных зон Украины, на традиционный вид воз-

действия – распашку земель. Отметим упрощение выборки данных, сгруппированных по типу «от информации об отдельном природном процессе к вариантам прогнозированных последствий проявления в ландшафтах его антропогенно обусловленных процессов-аналогов». Однако наличие в БД всех вариантов записей такого типа позволяет формировать запросы, построенные по типу «вид воздействия – ландшафт». Они дают перечень природно-антропогенных процессов, развитие которых стимулируется в данных ландшафтных условиях той или иной хозяйственной деятельностью.

**Таблица 3. Антропогенно обусловленные процессы линейной и плоскостной эрозии в результате распашки земель в ландшафтах различных природных зон равнинной Украины (с использованием данных [7, 16, 18, 21, 25])**

Природные ландшафты	Направления антропогенной трансформации ландшафтов в результате распашки земель	Компоненты и свойства ландшафтов, подвергающиеся изменениям
<b>Хвойно-широколиственнолесные</b> ландшафты моренно-зандровых низменностей на меловых отложениях, перекрытых четвертичными отложениями, с остатками коренных пород, с дерново-подзолистыми песчано-супесчаными почвами, под суборями и судурами	Формирование агроландшафтов регионального и локального уровня, в которых незначительно проявление антропогенно обусловленных процессов линейной эрозии	Почвенно-растительный покров, в меньшей степени – режим увлажнения
<b>Широколиственнолесные</b> ландшафты эрозионно расчлененных лессовых возвышеностей на палеозойских, меловых и неогеновых отложениях, перекрытых четвертичными отложениями, с серыми и темно-серыми оподзоленными почвами, под дубравами	Формирование агроландшафтов регионального уровня, для которых характерна антропогенно обусловленная активизация процессов линейной эрозии, линейного размыва и плоскостного смыва, уменьшение влажности почв, снижение их плодородия	Литогенная основа, почвенно-растительный покров, режим увлажнения
<b>Северостепные</b> ландшафты волнистых расчлененных оврагами и балками лессовых низменностей на неогеновых отложениях, перекрытых четвертичными отложениями, с черноземами обыкновенными малогумусными, под разнотравно-типчаково-ковыльной растительностью	Формирование агроландшафтов регионального уровня, для которых характерны антропогенно активизированные эрозионные и дефляционные процессы и как следствие – перераспределение площадей между уроцищами междуречий и эрозионной сети, увеличение площади приводораздельных склонов	Литогенная основа, почвенно-растительный покров, режим увлажнения

Как известно, сопряженное проявление различных по генезису процессов становится причиной синергетических процессов, приводящих к изменениям в структуре и свойствах ландшафтов. При исследовании ландшафтов как синергетических систем очевидна необходимость анализа взаимодействия и взаимообусловленности природно-антропогенных процессов, формирующих современные ландшафты и часто являющихся фактором их развития (или деградации). Поэтому полученные с использованием БД прогнозные оценки, несмотря на систематизацию в ней большого количества информации о природно-антропогенных процессах и факторах их раз-

вития, на сложность формализации и представления таких данных, являются лишь основанием для дальнейших комплексных исследований последствий антропогенных воздействий на окружающую среду той или иной территории.

Например, при прогнозе перераспределения загрязняющих веществ в ландшафтах для каждого ландшафтного комплекса анализируются факторы, определяющие направление и интенсивность этого процесса [6, 28]. При их экспертной оценке учитываются характеристики рельефа (элементы рельефа, крутизна и форма склона), почвенного покрова (гранулометрический состав почвы, смытость, оглеение, наличие

ландшафтно-геохимических барьеров), современного растительного покрова (наличие лесной, луговой растительности, сельхозугодий, в том числе распахиваемых земель). Оценочные и прогнозные исследования, представленные в виде картографических моделей, дают информацию о пространственных закономерностях проявления природно-антропогенных процессов в ландшафтах той или иной территории. Несмотря на комплексный характер каждого из них, они не передают всю совокупность природно-антропогенных процессов, определяющих современное состояние ландшафтов.

Например, выполненные при участии автора прогнозные оценки перераспределения радионуклидов и других техногенных загрязнителей в ландшафтах зон влияния Хмельницкой и Ровенской АЭС [28] только частично учитывают антропогенные изменения ландшафтов. Были учтены указанные выше характеристики ландшафтов, однако не было возможности учесть ряд факторов, влияющих на условия водной миграции веществ и обусловленных ими природно-антропогенных процессов, что становится возможным при использовании БД «Природно-антропогенные процессы...». Достоверность и детальность прогнозов миграции загрязняющих веществ в ландшафтах повышается при учете сезонных особенностей условий ее развития. Для ландшафтов Украинского Полесья основными сезонными особенностями формирования латеральной миграции веществ являются [3, 5, 27]:

в зимний период – осуществление стока по снежному покрову или замерзшему грунту, что делает характер рельефа основным фактором перераспределения загрязнителей; лесная растительность при этом выступает как механический барьер;

в весенний период – значительная активизация стока во время снеготаяния и интенсивных дождей, в результате распашки земель; наличие больших площадей незакрепленных растительностью сельхозугодий, что наряду с характером рельефа делает важной роль механического состава почвы в процессах водной латеральной миграции и ветровой эрозии; активные биогенные процессы повышают роль растительности как биогеохимического барьера;

в летний период – преобладание ливневых осадков, которые благоприятствуют усилинию интенсивности перераспределения загрязнителей с водными потоками, и развитие растительного покрова, способствующего замедлению процессов латеральной миграции;

в осенний период – обложной характер дождей, интенсивность которых недостаточна для

формирования активных миграционных потоков, в сочетании с преобладающими песчаными почвами, способными накапливать значительное количество влаги, создает условия замедления миграционных потоков.

На рис. 2 представлен фрагмент карты, иллюстрирующей результаты комплексного анализа условий латеральной миграции загрязняющих веществ в полесских ландшафтах. При ее выполнении проанализированы обобщенные в базе данных «Природно-антропогенные процессы...» характеристики природных ландшафтных комплексов ранга уроцище, их антропогенные изменения, сезонные особенности формирования процессов латеральной миграции (табл. 4). С учетом интенсивности, а также возможных сочетаний в пределах одного ландшафтного комплекса в течение сезона разнонаправленных миграционных процессов выделено 14 их типов. Использование средств геоинформационных систем для разработки карты условий латеральной миграции загрязняющих веществ в ландшафтах позволило в одном векторном слое представить информацию об их изменении в различные сезоны года. Антропогенные изменения, которые учтены при анализе предпосылок латеральной миграции в ландшафтах, – это наличие мелиоративных систем и зон их влияния (определенное перераспределение стока по мелиоративным каналам, изменение природных условий увлажнения и физико-химических свойств осущеных торфяников), транспортных магистралей (как механических барьеров, влияющих на изменение направления миграционных потоков), сельских населенных пунктов (в пределах которых частично изменены природные условия латеральной миграции), территорий городской многоэтажной и промышленной застройки (в их пределах увеличивается интенсивность стока по поверхностям с искусственным покрытием, происходит его перераспределение по канализационным сетям; по сравнению с естественными условиями зоны смешанных лесов коэффициент стока увеличивается на урбанизированных территориях почти вдвое [4]). Города и промышленные предприятия также являются потенциальными источниками поступления загрязняющих веществ. Кроме радиоактивного загрязнения, связанного с чернобыльской катастрофой, наибольшими источниками поступления загрязняющих веществ в ландшафты в пределах исследуемой территории являются Ровенская АЭС и г. Кузнецовск [8]. Наши исследования показали, что в окрестностях этих объектов содержание в почвах тяжелых металлов (марганца, свинца, меди, никеля, ванадия) превышает их фоновые значения в 2–7 раз [22].

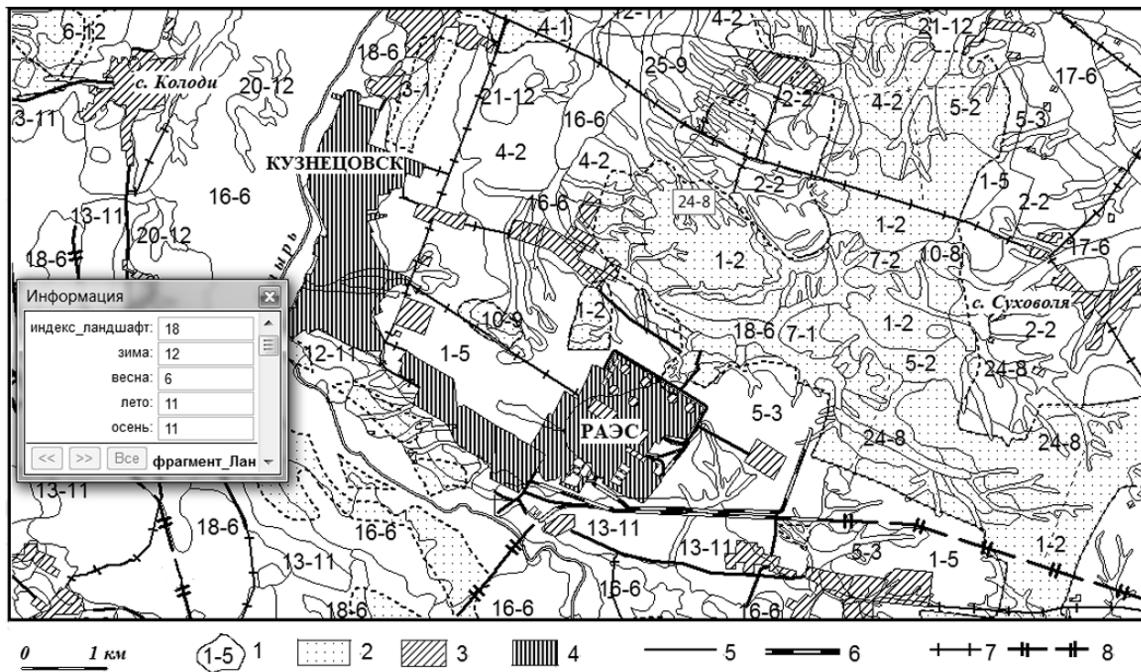


Рис. 2. Условия латеральной миграции загрязняющих веществ (на примере весеннего сезона) в антропогенно измененных ландшафтах Волынского Полесья (30-километровая зона влияния Ровенской АЭС, фрагмент). Разработано с использованием данных [3, 27, 28]: 1 – контуры ландшафтов: первая цифра – индекс ландшафтного комплекса, вторая цифра – типы условий латеральной миграции в весенний сезон (табл. 4); 2 – лесные массивы; 3 – сельские населенные пункты; 4 – городские населенные пункты и промышленные зоны; 5 – автодороги; 6 – железные дороги; 7, 8 – участки авто- (7) и железных (8) дорог, выступающие в весенний период механическими барьерами при латеральной водной миграции загрязняющих веществ

Таблица 4. Сезонные условия формирования латеральной миграции загрязняющих веществ в полесских ландшафтах (к рис. 2)

№ п/п	Разновидности ландшафтных комплексов (урочища)	Типы условий миграции *			
		зима	весна	лето	осень
1	Моренные равнины повышенные и холмы куполообразные (камы), с дерново-подзолистыми песчаными почвами, распаханные / под сухими и свежими борами	5/2 **	5/2	5/2	5/2
2	Моренные и моренно-водноледниковые равнины среднего уровня, с дерново-подзолистыми глееватыми супесчаными почвами, распаханные / под свежими сложными субборями	2	2	2	2
3	Моренные равнины, пониженные, с дерново-подзолистыми песчаными почвами, распаханные / под свежими субборями	2/1	1	10/11	10/11
4	Моренно-водноледниковые равнины пониженные, выровненные и волнистые, с дерново-подзолистыми оглеенными песчаными почвами, распаханные / под свежими и влажными судубравами	2/1	2/1	11/12	11/12
5	Моренно-водноледниковые равнины среднего уровня, выровненные, с дерново-подзолистыми оглеенными легкосуглинистыми почвами, распаханные / под свежими сложными субборями	2/1	3/2	11/12	11/12
6	Межгрядовые понижения, сырьи и заболоченные, с болотными почвами и торфяниками, под болотнотравно-влажнотравными лугами и осиново-березово-сосновыми лесами	12	12	12	12
7	Слоны пологие, сложенные моренными отложениями, с дерново-подзолистыми оглеенными пылевато-песчаными почвами, распаханные / под свежими субборями	4/10	2/1	2/1	10/11
8	Слоны пологие, сложенные песками с включением валунов, с дерново-подзолистыми, в том числе глееватыми супесчаными почвами, под свежими борами и субборями	4	2	3	2

## Окончание табл. 4

№ п/п	Разновидности ландшафтных комплексов (урочища)	Типы условий миграции *			
		зима	весна	лето	осень
9	Привершинные водосборные понижения, сложенные моренными суглинками, с дерново-подзолистыми оглеенными супесчаными почвами, распаханные / под свежими сложными суборями	11/10	8	13/14	10/11
10	Привершинные водосборные понижения, сложенные песчаной с включением валунов мореной, с дерново-дзолистыми оглеенными супесчаными почвами, распаханные / под свежими суборями	10/11	8/9	13/14	10
11	Пролювиально-деллювиальные шлейфы, сложенные песками с включением валунов, с дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами, распаханные / под влажными суборями	11/12	9/8	11/12	10/11
12	Террасы надпойменные повышенные, выровненные и бугристые, сложенные песками, с дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами, распаханные / под сухими борами	5/11	11/12	10/11	11/12
13	Террасы надпойменные пониженные, сложенные песками с прослойями оглинистого песка, с дерново-подзолистыми оглеенными супесчаными почвами, распаханные / под сырьими борами	11/12	11/12	10/11	11/12
14	Поймы прирусловые высокие, сложенные песками, с дерновыми почвами, под влажнотравно-разнотравными лугами	13	3	10	10
15	Поймы высокие, волнистые, сложенные песками, с дерновыми и луговыми песчаными почвами, под разнотравно-злаковыми лугами	13	6	11	10
16	Поймы высокие, выровненные, сложенные суглинками, с дерновыми и луговыми, в том числе карбонатными, суглинистыми почвами, под злаково-разнотравными и влажнотравными лугами	13	6	10	10
17	Поймы выровненные или параллельно-гривистые, сложенные песками, с дерновыми и луговыми супесчаными почвами, под злаково-разнотравными и влажнотравными лугами	13	6	11	11
18	Поймы низкие, сложенные песками и суглинками, с дерновыми, лугово-болотными почвами и торфяниками, под осоково-влажнотравными и болотно-травными лугами	12	6	11	11
19	Поймы низкие, сложенные песками, с лугово-болотными почвами и торфянниками, под черноольховыми лесами и осоково-влажнотравными лугами, большей частью мелиорированные	12	7	12	12
20	Староречные понижения, сложенные суглинками, с торфяно-болотными почвами и торфяниками, под болотнотравными лугами	12	12	12	12
21	Западины в песках, с дерновыми, торфяно-болотными почвами и торфянниками, под свежими и влажными борами и суборями, разнотравно-влажнотравными и болотнотравными лугами	12	12	12	12
22	Овраги в моренных отложениях, с дерново-подзолистыми песчаными смытыми почвами под разнотравно-злаковыми группировками и с незакрепленными растительностью песками	9	9	9	13
23	Балки в моренных отложениях, с торфяно-болотными почвами, под черноольшаниками и влажнотравно-болотнотравными лугами	12	9	14	14
24	Лощины в песках, с дерново-подзолистыми глееватыми песчаными почвами, распаханные / под свежими суборями	11	8/9	8/13	13
25	Лощины в сулинках или в песках, подстилаемых суглинками, с лугово-болотными, торфяно-болотными почвами и торфянниками, под черноольховыми лесами и болотнотравными лугами	11	9	14	14
26	Дюны, сложенные золовыми песками, с дерново-скрыто- и слабоподзолистыми почвами, распаханные / под сухими борами	3/2	3/2	3/2	2/1

\*Типы условий миграции загрязняющих веществ (1–14): **вынос**: 1 – наименьшей интенсивности, 2 – средней интенсивности, 3 – средней интенсивности в сочетании с транзитом большей интенсивности (в зимний период, во время активного снеготаяния), 4 – средней интенсивности в сочетании с аккумуляцией, 5 – наибольшей интенсивности, 6 – вынос во время половодья, 7 – интенсивный вынос во время половодья в сочетании с аккумуляцией (из мелиорированных торфяников); **транзит**: 8 – меньшей интенсивности, 9 – большей интенсивности; **аккумуляция**: 10 – наименьшей интенсивности, 11 – наименьшей интенсивности в сочетании с транзитом большей интенсивности, 12 – средней интенсивности, 13 – средней интенсивности в сочетании с транзитом меньшей интенсивности, 14 – наибольшей интенсивности.

\*\*Через косую черту обозначены условия миграции, отличающиеся в данных ландшафтных комплексах для распаханных (перед чертой) и залесенных (после черты) участков.

Дальнейшему усовершенствованию прогнозов изменений ландшафтов, испытывающих антропогенные воздействия, послужит интегрированное использование базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины» и геоинформационной системы «Ландшафты Украины». В частности, база данных «Природно-антропогенные процессы ...» может быть использована для прогнозирования вероятности проявления неблагоприятных, катастрофических природно-антропогенных процессов в регионах Украины.

**Выводы.** Обоснование принципов организации и формирование базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины», анализ результатов исследований природно-антропогенных процессов в ландшафтах, а также собственный опыт автора в изучении антропогенно измененных ландшафтов Украины дают возможность сформулировать ряд выводов.

1. Использование комплекса методов, объединение разных направлений ландшафтоведения в одном исследовании направлены на наиболее полный и всесторонний анализ и прогноз изменений, происходящих в современных ландшафтах. В то же время сложность и много-компонентность ландшафтов, взаимосвязь и взаимозависимость развивающихся в них природных и природно-антропогенных процессов при их изучении делает необходимым разделение сложных процессов на составляющие. Практический способ систематизации информации о таких процессах – разработка базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины».

2. Основные принципы организации предлагаемой базы данных – учет взаимосвязи природных и природно-антропогенных процессов, зависимости возникновения тех или иных природно-антропогенных процессов от характера техногенных воздействий на ландшафт, учет

особенностей пространственного проявления природных и природно-антропогенных процессов в зависимости от ландшафтных условий территории и уже существующих антропогенных нагрузок на ландшафты – позволяют выполнять комплексный анализ природно-антропогенных процессов различного генезиса.

3. Предложенная структура базы данных дает возможность сформировать перечень потенциальных природно-антропогенных процессов и выделить из него наиболее важные, которые и определяют основные изменения в ландшафтах зонального, регионального, локального уровня, и уже на этой основе моделировать антропогенно обусловленные изменения ландшафтов конкретной территории.

4. Как одни из наиболее важных в формировании современных свойств антропогенно измененных ландшафтов Украины рассматриваются геоморфологические процессы и их антропогенно обусловленные варианты, развитие которых определяет характер многих других природно-антропогенных процессов (латеральной и радиальной миграции веществ, гидрологических, микро- и мезоклиматических процессов, формирования почвенного и развитие растительного покрова в пределах техногенно нарушенных территорий и др.).

5. Прогноз комплексного воздействия на ландшафты существующих или планируемых видов хозяйственной деятельности необходим для общей оценки их влияния на ландшафты, при обосновании выбора территорий для развития новых направлений природопользования, размещения промышленных объектов. Оптимизация решения таких задач возможна при интегрированном использовании базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины» и геоинформационной системы «Ландшафты Украины».

## Литература

1. Арманд, Д. Л. Процессы физико-географические / Д. Л. Арманд // Краткая географическая энциклопедия / гл. ред. А. А. Григорьев. – М., 1962. Т. 3. – С. 309–310
2. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. – М., 1988.
3. Голубцов, О. Г. Сезонні умови формування міграційної структури територій (на прикладі ландшафтів Димерського модельного полігона) / О. Г. Голубцов, С. В. Мисник // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «География». – 2008. Т. 21 (60). № 3. – С. 129–140.
4. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.] – Минск, 2013.
5. Гриневецький, В. Т. Гідротермічні передумови міграції радіонуклідів у Чорнобильській зоні / В. Т. Гриневецький, В. С. Давидчук, М. Ф. Петров // Бюлєтень екологічного стану Зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення – № 2 (22) квітень 2003. – С. 13–22.
6. Давыдчук, В. С. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / В. С. Давыдчук [и др.]. – Киев, 1994.
7. Денисик, Г. І. Антропогенні ландшафти Правобережної України / Г. І. Денисик. – Вінниця, 1998.

8. Доповідь про стан навколошнього природного середовища в Рівненській області за 2013 р. / Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. Рівне, 2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа : [http://www.ecorivne.gov.ua/report\\_about\\_environment/](http://www.ecorivne.gov.ua/report_about_environment/).
9. Єргіна, О. І. Моделювання швидкості формування рецентних ґрунтів в ландшафтах Криму / О. І. Єргіна, С. Г. Чорний // Український географічний журнал. 2011. № 2. – С. 24–27.
10. Исаченко, А. Г. Основные вопросы физической географии / А. Г. Исаченко. – Л., 1953.
11. Клімат України / За редакцією В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – Київ, 2003.
12. Ковальчук, І. П. Антропогенні процеси / І. П. Ковальчук, Є. А. Іванов // Екологічна енциклопедія : у 3 т. – Київ, 2006. – Т.1: А-Е. – С. 43.
13. Ковальчук, І. П. Техногенез / І. П. Ковальчук, Н. С. Остапенко // Екологічна енциклопедія : у 3 т. – Київ, 2008. – Т. 3: О-Я. – С. 294.
14. Лихачева, Э. А. Техногенез / Э. А. Лихачева, Д. А. Тимофеева // Экологическая геоморфология : Словарь-справ. – М., 2004.
15. Малишева, Л. Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій / Л. Л. Малишева. – К., 1997.
16. Національний Атлас України / Гол. ред. Л. Г. Руденко. – Київ, 2007. Ландшафти. Карта м-бу 1: 2 500 000 / О. М. Маринич, В. М. Пащенко, О. М. Петренко, П. Г. Шищенко. – С. 222–224.
17. Національний Атлас України / Гол. ред. Л. Г. Руденко. – Київ: ДНВП «Картографія», 2007. Геохімія ландшафтів. Карта м-бу 1: 4 000 000 / Л. Л. Малишева, Н. В. Петрина. – С. 227.
18. Палієнко, В. П. Сучасна динаміка рельєфу України / В. П. Палієнко [та ін.] ; за ред. В. П. Палієнко. К., 2005.
19. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – М., 1975.
20. Петров, М. Ф. Особливості змін рослинних комплексів Чорнобильської зони відчуження після 1986 року / М. Ф. Петров // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. 2013. № 11. – С. 46–55.
21. Пилипенко Г. П. Ландшафтне різноманіття та спуст逐ювання степових ландшафтів, критерії оцінки та проблеми дослідження // Проблеми ландшафтного різноманіття України. Київ, 2000. – С. 153–157.
22. Сорокина, Л. Ю. Геохимическая оценка антропогенной трансформации ландшафтов трансграничного бассейна р. Стыри / Л. Ю. Сорокина [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. Вып. 24. – С. 77–89 .
23. Сорокина, Л. Ю. Єдина класифікація природних і антропогенно змінених ландшафтних комплексів та структура легенди середньомасштабної ландшафтної карти України / Л. Ю. Сорокина ; Інститут географії НАН України. – Київ, 2014. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 55151. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 04.06.2014.
24. Шищенко, П. Г. Антропогенное преобразование современных ландшафтов / П. Г. Шищенко // Природная среда и хозяйственная деятельность человека. – Киев, 1985. – С. 114–131.
25. Шищенко, П. Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании / П. Г. Шищенко. – Киев, 1999.
26. Ярков, С. В. Сингенез рослинних угрупувань у ландшафтах зон техногенезу : автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.01 / С. В. Ярков ; НАН України. Інститут географії. – Київ, 2010.
27. Golubtsov, O., Sorokina, L. Forecasting of Seasonal Features of Migration Technogenic Pollutants in Landscapes of City Region // Mountain areas – ecological problems of citis : Materials of International Youth Scientific Conference. Yerevan, May 29–30, 2007 / Editor-in-Chief A. K. Saghatelian. – Yerevan: Publ. House of the Center for Ecological-Noosphere Studies of NAS RA, 2007. – P. 19–22.
28. Malyshova, L. Ecosystems of 30-km zones of Khmelnytsky and Rivne NPP: estimation of migration conditions of the radionuclides and other technical pollutants / L. Malyshova, L. Sorokina, O. Galagan [et al.] // Equidosimetry – Ecological Standardization and Equidosimetry for Radioecology and Environmental Ecology / ed. by F. Brechignac and G. Desmet // Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Ecological Standardization and Equidosimetry for Radioecology and Environmental Ecology (Kiev, Ukraine, 14–20 April 2002) Published by Springer, 2005. – P. 369–376.

**Інститут географии НАН Украины**

Поступила в редакцию 2.09.2014 г.

**Л. Ю. Сорокина**

### **ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ «ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ УКРАИНЫ»**

Рассмотрены принципы организации базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины». Ими являются учет зависимости природно-антропогенных процессов от природных процессов-аналогов и от характера техногенных воздействий на ландшафт, а также учет особенностей проявления природно-антропогенных процессов в зависимости от ландшафтных условий территории и уже существующих антропогенных нагрузок. Охарактеризованы основные структурные блоки предлагаемой базы данных. В них систематизирована сле-

дующая информация: 1) разноранговые ландшафтные комплексы Украины; 2) природные процессы различного генезиса; 3) виды антропогенного воздействия; 4) природно-антропогенные процессы, которые рассматриваются в соответствии с их природными инвариантами и ландшафтными предпосылками развития; 5) изменения в ландшафтах, связанные с развитием природно-антропогенных процессов. Предложенная структура базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины» дает возможность сформировать перечень потенциальных природно-антропогенных процессов и выделить из него наиболее важные, которые определяют основные изменения в ландшафтах конкретной территории, моделировать на этой основе антропогенно обусловленные изменения ландшафтов. Решение таких задач наиболее продуктивно при интегрированном использовании базы данных «Природно-антропогенные процессы в ландшафтах Украины» и геоинформационной системы «Ландшафты Украины».

**L. U. Sorokina**

**PRINCIPLES OF ORGANIZATION OF DATABASE  
«NATURALLY AND ANTHROPOGENIC PROCESSES IN THE LANDSCAPES OF UKRAINE»**

*Principles of organization of database «Naturally and anthropogenic processes in the landscapes of Ukraine» are considered. By them it is been consideration of dependence of the naturally-anthropogenic processes from natural processes-analogues and from the technogenic affecting landscape, consideration of naturally-anthropogenic processes features depending on the landscape terms of territory and already existent anthropogenic loading. The basic structural blocks of the offered database are described. The following information is systematized in them: 1) landscape complexes of Ukraine; 2) the natural processes of different genesis; 3) the types of anthropogenic influence; 4) naturally-anthropogenic processes that is considered in accordance with their natural invariants and landscape pre-conditions of development; 5) changes in landscapes that is related to development of naturally-anthropogenic processes. Offered structure of database «Naturally-anthropogenic processes in the landscapes of Ukraine» makes it possible to form the list of potential naturally-anthropogenic processes and choose most essential from it, that determine basic changes in the landscapes of concrete territory. It is basis for the modeling of the anthropogenic conditioned changes of landscapes. The decision of such tasks is most productive at the integrated use of database «Naturally-anthropogenic processes in the landscapes of Ukraine» and geographic information system «Landscapes of Ukraine».*

УДК 502:330.15:630\*181.9(476)

**Л. А. Кравчук<sup>1</sup>, А. В. Судник<sup>2</sup>, Н. К. Быкова<sup>1</sup>, Н. М. Баженова<sup>1</sup>, А. Ч. Пац<sup>1</sup>**

## АССИМИЛЯЦИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ЛЕСАМИ МИНСКА И ПРИГОРОДА

*Рассмотрен опыт оценки ассимиляции диоксида углерода городскими лесными экосистемами с использованием данных о структуре и продуктивности лесов, расположенных в пределах городской черты Минска и ближайшего пригорода.*

Качество городской среды определяется не только интенсивностью антропогенных (техногенных) нагрузок, но и свойствами природных комплексов, детерминирующих распределение потоков загрязняющих веществ, скорость и специфику их миграции и депонирования, потенциал самоочищения и восстановления. Средообразующие и средозащитные функции природно-растительных комплексов (ПРК) (климатообразующие, санитарно-гигиенические, почво- и водозащитные, архитектурно-планировочные и др.) обусловлены способностью растительности изменять микро- и мезоклимат, очищать воздух от вредных примесей, выделять кислород, озон, фитонциды, снижать уровень шума, защищать почву и ландшафтные воды от загрязнения, гармонизировать городское пространство [3, 6–8, 12].

Важным показателем выполнения экологических функций ПРК является ассимиляционный потенциал (АП). Ассимиляция (от латинского: *ad* – к, *similis* – подобный) – термин, который применяется в химии, социальной географии, геоэкологии и других отраслях знаний. В экологии он характеризует такое превращение попадающих извне в живой организм веществ, в результате которого они выводятся из сопредельных сред и становятся составной частью живых организмов. Из существующих определений понятия «ассимиляционный потенциал» [2, 4] мы принимаем определение АП природных комплексов как их способность без потери устойчивости депонировать природные или антропогенные вещества и/или устранять их вредное воздействие, вовлекая их в биохимический круговорот.

У разных видов растений способность к ассимиляции различных веществ, в том числе и загрязняющих, определяется особенностями их анатомии, физиологии и морфологии (ассимиляционной фитомассой, площадью и структурой листовой поверхности, особенностями кроны, индивидуальными свойствами газо- и аэрозолепоглощения и др.). Особенности ассимиляции ПРК во многом связаны с их продукционной активностью, которая детерминирована типом и структурой биогеоценозов, степенью их антропогенной трансформации, а также ландшафтно-экологическими условиями произрастания [1, 7–9, 13–15].

Таким образом, ассимиляционный потенциал растительности урбанизированных территорий определяется структурно-функциональными особенностями ее организации – структурой ПРК и культуроценозов, их состоянием и другими показателями, регулирующими интенсивность производственного процесса.

Одним из наиболее разработанных направлений оценки АП является выявление депонирования диоксида углерода ПРК, которое получило развитие в связи с оценками балансов парниковых газов и экосистемных функций растительности [2, 4, 5, 8–11, 17–20].

Значительный вклад в выявление ассимиляционных (газопоглотительных) свойств различных видов растений в связи с их устойчивостью внесли исследования ученых Центрального ботанического сада НАН Беларуси, которые позволили установить удельные газопоглотительные способности ассимиляционных органов аборигенных и интродуцированных видов деревьев и кустарников по отношению к различным поллютантам [1, 14]. Данные исследования могут служить основой для оценки АП растительных комплексов по отношению к газообразным загрязняющим веществам.

**Методика исследований.** Для определения интенсивности ассимиляции  $\text{CO}_2$  в растительных сообществах традиционно используется величина годичной продукции фитоценозов. Данный подход базируется на основном балансовом уравнении фотосинтеза, исходя из которого по запасам органического вещества в экосистеме, а также по величине его годичного прироста рассчитывается количество поглощенного растительностью диоксида углерода и выделенного кислорода. При расчете поглощения диоксида углерода в процессе жизнедеятельности растительных сообществ используется процедура оценки, включающая: определение годичного прироста фитомассы для различных растительных сообществ и перевод ее в углерод, связывающийся в органическом веществе в процессе жизнедеятельности растений, с использованием конверсионных коэффициентов. При этом применяются конверсионные коэффициенты перевода фитомассы в углерод для различных фракций растительных сообществ.

ществ различного типа. Сведения для оценок получают как по данным моделирования биологической продуктивности [6, 11–13, 16], так и на основании биогеоценотических исследований, которые имеют определенный уровень точности, связанный с особенностями используемых методик [14, 19]. Данные о биологической продуктивности экосистем Беларуси, особенно на урбанизированных территориях, ограничены, т. к. сопряжены с высокими затратами на их получение. К тому же, как показывают исследования, они в значительной степени зависят от ландшафтно-экологических условий и уровня антропогенного воздействия на ландшафты [15, 20].

Анализ имеющихся подходов к оценке АП показывает, что основная проблема их использования возникает на уровне адаптации имеющихся сведений о структуре растительных сообществ, их продуктивности для конкретных ландшафтно-экологических условий.

Оценка ассимиляционного потенциала лесных сообществ на территории Минска и ближайшего пригорода нами проводилась согласно основным положениям [17], но без учета коэффициента запаса углерода в почве.

Для оценки ассимиляции диоксида углерода лесными экосистемами можно использовать также таблицы биологической продуктивности (ТБП) основных лесообразующих пород, разработанные под руководством А. З. Швиденко [16]. Использование этих материалов для расчетов в Беларуси можно считать корректным, учитывая то, что для создания моделей хода роста и биологической продуктивности для нашего региона авторами использовались данные белорусских исследователей.

**Обсуждение результатов.** С использованием сведений о структуре лесных биогеоценозов по данным лесной таксации (сведения лесоустройства Минского леспункта) нами была проведена оценка ассимиляции диоксида углерода лесами (в разрезе выдела леса), расположенным в пределах городской черты Минска и ближайшем пригороде. На картосхеме (рис. 1) в разрезе кварталов леса отражены удельные показатели поглощения  $\text{CO}_2$  лесными древостоями (т/га в год). Данные для кварталов леса рассчитывались как средние взвешенные значения показателей, полученных для выделов, входящих в квартал.



Рис. 1. Распределение показателей ассимиляции диоксида углерода лесами Минска и пригорода, рассчитанных согласно [17]

Как видно из рис. 1, леса Минска обладают достаточно высоким потенциалом ассимиляции диоксида углерода. Высокий ассимиляционный потенциал ( $> 15,0$  т/га  $\text{CO}_2$ ) характерен для высоко- и средневозрастных, высокополнотных

лесных древостоев с участием сосны, с низкой долей прогалин, нелесных земель. Такими показателями характеризуются лесные древостои 75, 76 и 17 кварталов Городского, 181 и 185 кварталов Ратомского лесничества. Однако в составе

лесного фонда города встречаются леса и с низким потенциалом депонирования  $\text{CO}_2$  – от 2,3 до 5,0 т/га, что обусловлено низкой полнотой, пониженным бонитетом насаждений, малопродуктивными молодыми сообществами в основном мелколиственных пород, высокой долей прогалин и нелесных земель. Такие лесные насаждения отмечаются в 1, 2 и 144 кварталах Сосненского лесничества, 194 Колодищанского, 185 Ратомского, 93 Городского, 50 кварталах Минского лесничества.

Суммарные оценки показали, что лесные древостои в пределах современной городской черты Минска поглощают около 60 тыс. т  $\text{CO}_2$  в год, леса ближайшего пригорода – 40 тыс. т  $\text{CO}_2$  в год. При этом в процессе фотосинтеза лесными древостоями города в год производится около 43 тыс. т кислорода, а ближайшего пригорода – 28 тыс. т (расчеты проведены согласно [17]).

Если учесть, что цена квоты на выброс 1 т  $\text{CO}_2$  приближается в среднем к 10 евро, то городские леса Минска ежегодно оказывают экосистемные услуги по депонированию  $\text{CO}_2$  на сумму, близкую к 600 тыс. евро.

Для оценки депонирования диоксида углерода нами также был опробован подход с использованием ТБП, приведенных в [16]. Из данных таблиц для модальных древостоев соответ-

ствующих формаций, возраста и бонитета учитывался показатель чистой первичной продукции в углероде ( $\text{г С}/\text{м}^2$  в год). Ассимиляция  $\text{CO}_2$  оценивалась для каждого выдела леса с учетом породного состава, бонитета, возраста древостоев. При обработке данные корректировались на полноту имеющихся насаждений путем введения соответствующего коэффициента.

Расчеты депонирования диоксида углерода с использованием данных моделирования биологической продуктивности лесных экосистем, результаты которых отражены на рис. 2, показали достаточно высокую сходимость с данными, приведенными выше. Относительная разность суммарных показателей депонирования  $\text{CO}_2$ , полученная с использованием двух выше описанных подходов, для всех анализируемых лесов оказалась близка к 2 %. Однако разница между поквартальными показателями варьировала от 0,02 до 66 %. Наиболее высокой она была в сообществах со смешанными древостоями. При этом следует иметь в виду, что в таблицах биологической продуктивности [16] показатель чистой первичной продукции приведен для однопородных модальных древостоев без учета почвенной составляющей продуктивности биогеоценозов.

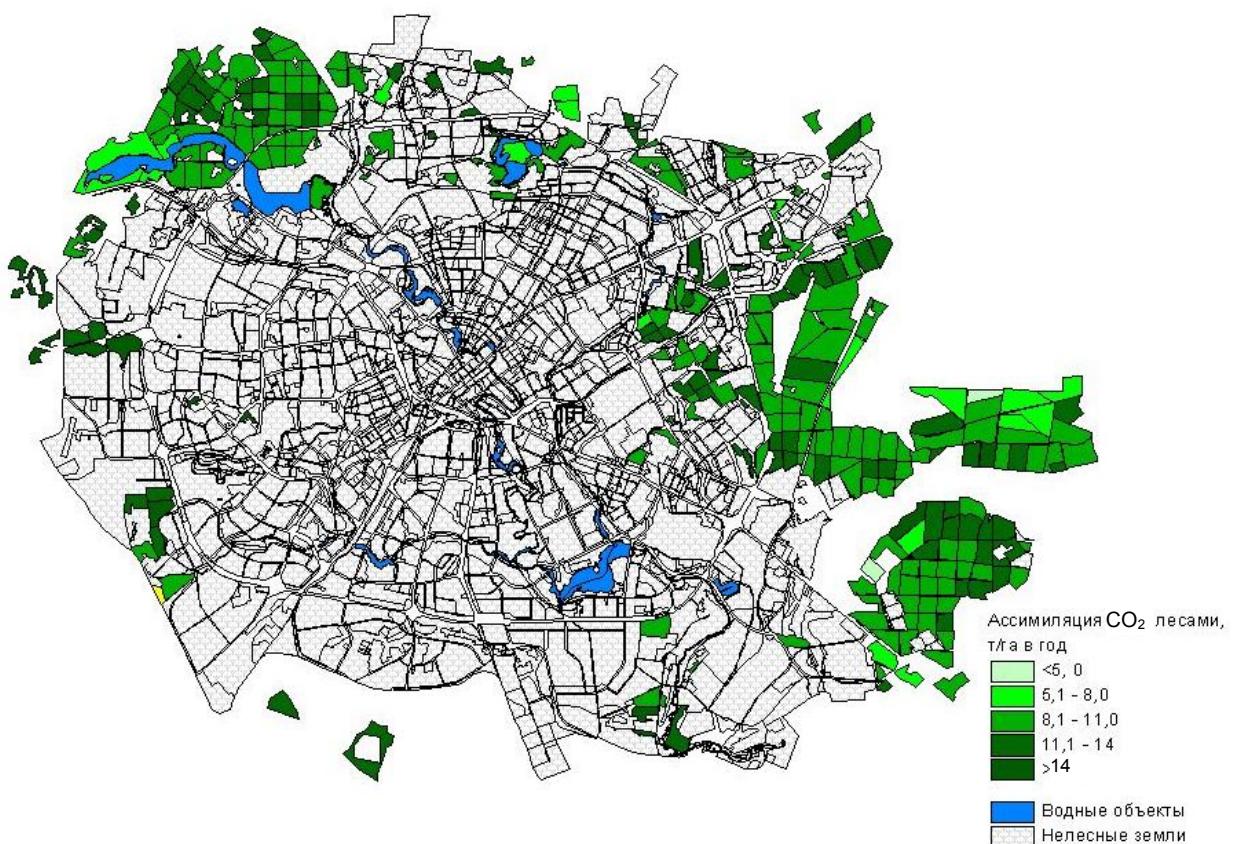


Рис. 2. Распределение показателей ассимиляции диоксида углерода лесами Минска и пригорода, рассчитанных с использованием [16]

**Заключение.** Таким образом, опыт оценки асимиляции CO<sub>2</sub> лесными экосистемами Минска с использованием различных подходов показывает возможность применения как подхода, предложенного в [17], так и подхода с использованием данных моделирования биологической продуктивности лесных биоценозов [16] с учетом специфики каждого из них. Возможность использования того или иного подхода определяется полнотой исходных данных, отраженных в материалах лесоустройства для городских лесов.

Следует отметить, что экологическая ценность ПРК, в аспекте реализации асимиляционного потенциала, во многом определяет их экономическую ценность, так как чем выше асимиляционный потенциал ПРК, тем меньше средств требуется на природоохранные мероприятия по

предотвращению загрязнения среды. Превышение поступления поллютантов в окружающую среду над асимиляционным потенциалом ПРК ведет к негативным экологическим последствиям (ухудшению качества атмосферного воздуха, воды, почв, к потере устойчивости экосистем, снижению их продуктивности, и, следовательно, асимиляционного потенциала) и в конечном итоге к разрушению ПРК.

Оценка АП ПРК в составе городов особенно актуальна при градостроительном планировании, так как с учетом асимиляционного потенциала природных экосистем возможно моделировать их оптимальное размещение в составе города для более эффективного снижения загрязнения городской среды.

## Литература

1. **Ассортимент** аборигенных и интродуцированных деревьев и кустарников, рекомендуемых для озеленения промышленно-городских территорий, автомагистралей, в зонах загрязнения воздуха газообразными соединениями азота, формальдегидом, бенз(а)пиреном, хлористым водородом / С. А. Сергейчик [и др.]. – Минск, 2005.
2. **Белоусова, Т. Н.** Методические подходы к экономической оценке асимиляционного потенциала лесных насаждений / Т. Н. Белоусова, О. А. Демидова, А. В. Равино // Сб. науч. тр. Ин-та леса. – Гомель, 2001. – Вып. 52. – С. 230–241.
3. **Городская среда: геоэкологические аспекты** : монография / В. С. Хомич [и др.]. – Минск, 2013.
4. **Гусев, А. А.** Асимиляционный потенциал окружающей среды и система прав собственности на природные ресурсы / А. А. Гусев // Экономика и математические методы [Электронный ресурс]. – 1997. – Т. 33. Вып. 3. – Режим доступа : <http://econpapers.repec.org/article/scnememm/33-3-1.htm>.
5. **Загрязнение** воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу, Д. Жилет, Э. Робинсон [и др.] Л., 1988.
6. **Карманова, И. В.** Опыт расчета количества кислорода, продуцируемого древостоями / И. В. Карманова, Л. П. Рысин // Оптимизация рекреационного лесопользования. – М., 1990. – С. 95–101.
7. **Кулагин, Ю. З.** Индустриальная дендроэкология и прогнозирование / Ю. З. Кулагин. – М., 1985.
8. **Логинов В. Ф.** Выбросы (эмиссии) и стоки парниковых газов в Республике Беларусь / В. Ф. Логинов, А. С. Сенько. – Минск, 2008.
9. **Промышленные** загрязнения, оценка, состояние и оптимизация природной среды городских экосистем / Е. А. Сидорович [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2007.
10. **Ракович, В. А.** Среднесуточные потоки и годовой баланс диоксида углерода в болотных и лесных экосистемах / В. А. Ракович // Природопользование. – Минск, 2007. – Вып. 13. – С. 61–65.
11. **Сачок, Г. И.** Биогенный круговорот в геоэкосистемах Беларуси (модельный аспект) / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко – Минск, 2004.
12. **Сачок, Г. И.** Имитационное моделирование лесных экосистем Беларуси / Г. И. Сачок, Д. Н. Татьянок. – Минск, 1994.
13. **Сачок, Г. И.** Биогеоценотическое разнообразие Беларуси: Информационно-моделирующая система / Г. И. Сачок [и др.]. – Минск, 1996.
14. **Сергейчик, С. А.** Растения и экология / С. А. Сергейчик. – Минск, 1997.
15. **Сидорович, Е. А.** Функционирование лесных фитоценозов в условиях антропогенных нагрузок / Е. А. Сидорович, Ж. А. Рупасова, Е. Г. Бусько. – Минск, 1985.
16. **Таблицы** и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). – М., 2008.
17. **ТКП 17.02-10-2013 (02120).** Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия. Расчет ежегодной углероддепонирующей способности лесов.
18. **ТКП 17.09-02-2011 (02120).** Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осущенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений.
19. **Уткин, А. И.** Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) / А. И. Уткин, Д. Г. Замолодчиков, А. А. Пряжников // Лесоведение. – 2003. № 1. – С. 48–57.

20. Экологический мониторинг лесных ландшафтов Белоруссии / Е. А. Сидорович [и др.]. – Минск, 1988.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси

Поступила в редакцию 30.09.2014 г.

**L. A. Кравчук, A. V. Судник, N. K. Быкова, N. M. Баженова, A. Ч. Пац**

### **АССИМИЛЯЦИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ЛЕСАМИ МИНСКА И ПРИГОРОДА**

Для выявления ассимиляционного потенциала природно-растительных комплексов в городах проведены оценки депонирования диоксида углерода лесными древостоями, расположенными в г. Минске и ближайшем пригороде. Расчеты показали, что в основном древостои в городских лесах обладают достаточно высоким потенциалом ассимиляции диоксида углерода. Значительный ассимиляционный потенциал (более 15,0 т/га CO<sub>2</sub>) характерен для высоко- и средневозрастных высокополнотных лесов с участием сосны, с низкой долей прогалин и нелесных земель. Однако в составе лесного фонда города встречаются леса и с низким потенциалом депонирования CO<sub>2</sub> – от 2,3 до 5 т/га, что обусловлено низкой полнотой, пониженным бонитетом древостояев, малопродуктивными молодыми сообществами в основном мелколиственных пород, высокой долей прогалин и нелесных земель.

Суммарные оценки показали, что лесные древостои города и ближайшего пригорода поглощают 60 тыс. т CO<sub>2</sub> в год, при этом ими производится в год около 43 тыс. т кислорода, а в ближайшем пригороде – 28 тыс. т. Подобные оценки позволяют выявить экологическую ценность природно-растительных комплексов в городах и определить стоимость экосистемных услуг, так как чем выше ассимиляционный потенциал, тем меньше средств требуется на природоохранные мероприятия по предотвращению загрязнения среды.

**L. A. Krauchuck, A. V. Sudnick, N. K. Bykova, N. M. Bazhenova, A. Ch. Pats**

### **ASSIMILATION OF CARBON DIOXIDE BY MINSK FORESTS AND AREAS**

To identify the carrying capacity of natural plant complexes the evaluation storage of carbon dioxide forest stands located in Minsk and suburbs are conducted. Calculations showed that mainly stands in the urban forests have sufficiently high potential assimilation of carbon dioxide. Significant carrying capacity (more than 15.0 tons of CO<sub>2</sub>/ha) is characterized for the high and middle of high density forest with pine, with a low proportion of glades and non-forest lands. However, as a part of the forest fund of the city there are forests with low potential deposit of CO<sub>2</sub> – from 2.3 to 5 t/ha, which is due to low efficiency, low yield class stands, unproductive young communities mostly small-leaved species, a high proportion of glades and non-forest lands.

Score showed that forest stands of the city and inner suburbs absorbed 60 thousand tons of CO<sub>2</sub> per year, while they made a year about 43 thousand tones of oxygen, and in the suburbs – 28 tons. Such evaluations reveal the ecological value of natural plant complexes in cities and determine the value of ecosystem services, as well as the higher carrying capacity, the less funds require for environmental measures to prevent pollution.

**А. Ч. Пац**

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АККУМУЛЯЦИИ ПЫЛИ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Приведены результаты исследований накопления пыли (твердых частиц) и тяжелых металлов древесной растительностью в зоне влияния крупных источников эмиссии пыли и тяжелых металлов – предприятий по производству стали и стекла. Анализируется накопление Cd, Zn, Pb, Cu, Ni и Mn на поверхности ассимилирующих органов древесных растений (березы бородавчатой, тополя дрожащего (осины), сосны обыкновенной), в листьях/хвое и в промывных водах с учетом удаленности от источников эмиссии.

Древесная растительность, произрастающая на территории городов, подвергается воздействию большого количества поллютантов, содержащихся в атмосферном воздухе, почве и воде. Среди них особое место занимают пыль (твердые частицы) и тяжелые металлы (ТМ), которые способны накапливаться в растениях и оказывать влияние на различные физиологические процессы в них.

Древесные насаждения в городах принимают участие в формировании химического состава воздуха. Они способны поглощать и трансформировать загрязняющие вещества, а также обогащать атмосферный воздух кислородом [6, 8, 11, 15]. В ранее проведенных исследованиях получены довольно убедительные доказательства процессов интенсивного накопления тяжелых металлов растительностью в зонах воздействия крупных металлургических центров и на территории промышленных городов [5, 18, 19]. Высокий уровень содержания тяжелых металлов в листьях связан, прежде всего, с аккумуляцией техногенной, металлосодержащей пыли на листовых пластинках [4]. Часть осевшей пыли смывается атмосферными осадками, а часть – прочно фиксируется внутри листьев и, возможно, является биологически инертной [1].

Данные, полученные ранее в зоне влияния Гродненского комбината строительных материалов [12, 17], свидетельствуют о накоплении пыли и тяжелых металлов древесной растительностью. Наибольшее количество тяжелых металлов содержится в твердой фракции пыли, что говорит о преобладающей роли поверхностной (пассивной) аккумуляции ТМ листьями древесных пород. Доля аккумуляции ТМ в ассимилирующих органах (листьях/хвое) древесных растений заметно ниже и варьирует в зависимости от породы и ТМ [12].

Цель исследования: выявить пути поступления и уровни накопления пыли и ТМ в древесной растительности в зонах воздействия промышленных предприятий – крупных источников эмиссии пыли и ТМ.

Для достижения поставленной цели исследовались древесные растения в зонах воздействия крупных источников эмиссии пыли и тяжелых металлов – Белорусского металлургического завода (г. Жлобин) и стеклозавода «Неман» (г. Берёзовка). Исследования проводились на пробных площадках (ПП), заложенных в лесных массивах с различными ландшафтно-экологическими условиями на разном удалении от предприятий.

Согласно геоботаническому районированию [10], гг. Жлобин и Берёзовка входят в подзону грабово-дубово-темнохвойных лесов (Бerezинско-Предполесский и Неманско-Предполесский округа соответственно).

Белорусский металлургический завод (БМЗ) специализируется на производстве легированного проката, металлокорда, бортовой латунированной проволоки, катанки для металлокорда. БМЗ в своем составе имеет следующие основные производственные подразделения: электросталеплавильный цех, сортопрокатные цеха, известково-обжиговый цех, цеха металлокорда, теплосиловое и ремонтное хозяйства [3]. Всего на металлургическом заводе имеется 352 источника выбросов вредных веществ в атмосферу, организованными являются 242. Пыле- и газоочистка осуществляется с помощью рукавных фильтров. По данным БМЗ, пыль, улавливаемая фильтрами, содержит тяжелые металлы: свинец – 5833,0 мг/кг, цинк – 18 280,0 мг/кг, марганец – 3750,0 мг/кг [3]. Анализ данных о качестве атмосферного воздуха показал, что максимальная концентрация твердых частиц

(ТЧ) в воздухе г. Жлобина в 2011 г. превышала ПДК в 1,3 раза [16].

Вблизи территории завода преобладают сосновые леса которые, исходя из типологической классификации, представлены лишайнико-вересковым типом (*Cladonia silvatica*, *Cl. rangiferina*, *Calluna vulgaris*). В зоне воздействия БМЗ заложены 2 пробные площадки:

площадка № 1 (ПП-1) заложена в 100 м к западу от завода. Вблизи расположена асфальтированная дорога с низкой интенсивностью движения;

площадка № 2 (ПП-2) заложена в 300 м к югу от завода на окраине леса.

Стеклозавод «Неман», специализируется на производстве хрустального стекла, включает 9 стекловаренных печей, из них одна электрическая и 8 газопламенных. Выбросы пыли и ТМ происходят на стадиях обработки сырьевых материалов, варки стекломассы, отрезки колпачка, шлифовки и полировки изделий [3]. По данным статистической отчетности, в 2013 г. в атмосферный воздух выброшено около 0,35 т твердых частиц (суммарно).

В непосредственной близости от стеклозавода расположен зеленомошно-брюсличный сосняк (*Pleurozium Schreberi*, *Dicranum undulatum*, *D. scoparium*, *Vaccinium vitis-idaea*).

Пробная площадка №3 (ПП-3) была заложена в 200 м к востоку от завода, в сосняке мшистом, с единичными берёзой и елью.

Для изучения аккумуляции пыли было

отобрано 9 растительных проб (листья и хвоя) следующих пород: берёза бородавчатая, тополь дрожащий (осина), сосна обыкновенная на каждой пробной площадке. Каждая проба формировалась из 50 листьев (для лиственных пород) или 2–4 веток с хвоей.

Отбор растительных проб производился во второй половине вегетационного периода, когда листья полностью развились. Пробоотбор осуществлялся в соответствии с основными положениями методики ISP-forests [13].

Содержание накопившихся на листьях и хвое твердых частиц проводилось путем смыва их дистиллированной водой с дальнейшим определением массы ТЧ, с учетом опыта исследований, согласно [7, 14].

Содержание Cd, Pb, Cu, Zn, Ni и Mn определялось в трех фракциях: нерастворимой составляющей (пыли), осевшей на фильтре, в промытых растительных пробах (листьях и хвое) и растворимой составляющей, в соответствии с [9]. Химико-аналитические исследования проводились атомно-абсорбционным методом.

На изученных пробных площадках наибольшее накопление пыли зафиксировано у сосны обыкновенной в зоне воздействия БМЗ: на ПП-1 – 44 814 мкг/г и ПП-2 – 26 738 мкг/г. Высокий уровень накопления пылевых частиц был установлен также на листьях берёзы бородавчатой в зоне воздействия стеклозавода «Неман» (ПП-3) – 25 078 мкг/г (табл. 1).

**Таблица 1. Накопление пыли (мкг/г абс. сухой растительной массы) древесными породами в зонах влияния крупных источников эмиссии пыли и тяжелых металлов**

№ ПП	Место отбора	Удаленность от источника	Берёза бородавчатая	Тополь дрожащий (осина)	Сосна обыкновенная
ПП-1	БМЗ	100 м к западу	2801	759	44 814
ПП-2	БМЗ	300 м к югу	1833	2268	26 738
ПП-3	Стеклозавод «Неман»	200 м к востоку	25 078	15 025	8228

Концентрация ТМ в твердых частицах, осевших на листьях и хвое древесных растений в зоне воздействия БМЗ, характеризуется значительным диапазоном значений: Zn – от 1886,7 до 3153,5 мкг/г (среднее – 2316,6 мкг/г), Mn – от 193,3 до 1958,4 (среднее – 1291,3), Cu – от 133,2 до 1379,8 (среднее – 431,87), Pb – от 34,2 до 450,8 мкг/г (среднее – 210,7 мкг/г) (табл. 2).

Наибольшая концентрация цинка – 3153,5 мкг/г зафиксирована в твердой фракции пыли, осевшей на листьях тополя дрожащего, на

ПП-1 (100 м к западу от БМЗ), что в 1,5 раза больше по сравнению с ПП-2 (300 м к югу от источника). Максимальная концентрация меди в нерастворимой фракции пыли обнаружена на расстоянии 300 м к югу от завода, что в 3,6 раза больше чем на ПП-1 (100 м от предприятия). Наибольшее количество свинца в твердой фракции зафиксировано на расстоянии 100 м к западу от БМЗ – 450,8 мкг/г, что практически в 2 раза больше по сравнению с ПП-2, удаленной на 300 м к югу от промплощадки.

**Таблица 2. Содержание ТМ в пыли, осевшей на листьях и хвое древесных растений, в сравнении с их содержанием в пылевых выбросах, мкг/г пыли**

Пробная площадка	Древесная порода	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn
Белорусский металлургический завод (БМЗ)							
ПП-1 (100 м к западу от источника)	Берёза бородавчатая	24,0	231,2	196,9	1892,1	123,3	1087,3
	Тополь дрожащий (осина)	48,2	250,0	385,9	3153,5	43,9	1451,8
	Сосна обыкновенная	19,3	450,8	238,6	2970,1	16,1	1958,4
Пробная площадка	Древесная порода	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn
ПП-2 (300 м к югу от источника)	Берёза бородавчатая	44,5	34,2	256,8	1941,8	246,6	193,3
	Тополь дрожащий (осина)	33,6	64,9	1379,8	2055,3	64,9	1747,6
	Сосна обыкновенная	8,6	233,3	133,2	1886,7	11,2	1309,5
Электросталеплавильное производство [18]		370	9226	1962	126 077	342	-
Стеклозавод «Неман»							
ПП-3 (200 м к востоку от источника)	Берёза бородавчатая	3,1	8,5	8,0	71,6	16,5	54,9
	Тополь дрожащий (осина)	7,1	30,4	21,3	178,9	2,0	104,7
	Сосна обыкновенная	1,8	19,7	20,0	95,4	12,4	82,1
Производство хрустального стекла [18]		1,9	628 000	6,3	3890	2,6	-

Как следует из приведенных в табл. 2 данных, содержание ТМ в твердой фракции пыли, осевшей на листьях и хвое на ПП-1 (100 м от БМЗ), в большинстве случаев выше, чем на ПП-2, удаленной на 300 м от предприятия. Подобные различия составили для Pb: 6 раз на листьях берёзы, 3 раза – на листьях осины, 2 раза – на хвое; для Mn: 6 раз – на листьях берёзы; для Cu: 2 раза – на хвое сосны.

В нескольких случаях концентрация ТМ в пыли, осевшей на листьях и хвое в пределах ПП-2 была несколько выше, чем на ПП-1, расположенной ближе к заводу. Для Cd и Ni, осевших в составе пыли на листья берёзы различия составили около 2 раз; для Cu на листьях тополя – 3,5 раза.

Как следует из табл. 2, в зоне воздействия БМЗ содержание ТМ, осевших на листьях/хвое, на 1–2 порядка ниже (за исключением никеля), чем их содержание в пыли, выбрасываемой сталеплавильными производствами. Подобные различия обусловлены прежде всего участием других источников, в том числе почвенной пыли в формировании пылевых отложений на поверхности листовых пластинок и хвои. Доминирующими компонентами пылевых выбросов производства хрустального стекла, согласно [18], являются свинец и цинк. Значительно меньшие концентрации этих металлов в осевшей пыли в зоне воздействия стеклозавода «Неман» по-видимому связаны с резким снижением объемов производства хрусталия на предприятии в последние годы

и, следовательно, уменьшением пылевой нагрузки на подстилающую поверхность.

Распределение ТМ по фракциям растительных образцов, отобранных в зоне воздействия БМЗ, представлено в табл. 3. В ассилирующих органах древесных растений максимальное количество цинка и марганца отмечается на ПП-2 (300 м к югу от БМЗ), что в 1,2 и 2,7 раза соответственно больше по сравнению с концентрацией данных элементов на ПП-1 (100 м к западу). Максимальные концентрации меди, свинца и никеля в ассилирующих органах растений зафиксированы на ПП-1.

В пылевой фракции образцов хвои и листьев берёзы содержание ТМ было выше на ПП-1 по сравнению с ПП-2. Так, подобные различия для свинца в листьях берёзы составили 10 раз, для цинка – 1,5; в хвое – 2,7–3,3 раза. В пылевой фракции образцов листьев тополя дрожащего концентрации большинства ТМ были выше на ПП-2.

Наибольшее количество цинка и меди, в промывных водах, зафиксировано на ПП-1 (100 м к западу от БМЗ), что практически в 2 раза больше по сравнению с ПП-2 (300 м к югу). Наоборот, максимальная концентрация марганца в промывных водах отмечается на ПП-2, что в 1,6 раза больше по сравнению с ПП-1 (см. табл. 3). Наибольшее содержание свинца в промывных водах (0,13 мкг/г) характерно для берёзы бородавчатой независимо от удаления от завода.

Суммарная концентрация ТМ в листьях/хвое в большинстве случаев на ПП-1 (100 м к западу от завода) выше, чем на более удаленной ПП-2 (300 м к югу): свинца – в 2,7 раза, меди – 1,7 и цинка – в 1,5 раза.

**Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в различных фракциях проб древесных растений в зоне воздействия БМЗ (г. Жлобин), мкг/г абс. сухого в-ва (листьев/хвои)**

Пробная площадка	Древесная порода	Фракции образца	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn
ПП-1 (100 м к западу от источника)	Берёза бородавчатая	Пыль <sup>1</sup>	0,07	0,65	0,55	5,30	0,35	3,05
		Ассимилирующие органы <sup>2</sup>	0,20	2,25	0,40	0,60	0,61	9,70
		Промывные воды <sup>3</sup>	0,02	0,13	0,32	1,48	0,02	0,24
		<b>Всего</b>	0,29	3,03	1,27	7,38	0,98	12,99
	Тополь дрожащий (осина)	Пыль	0,04	0,19	0,29	2,39	0,03	1,10
		Ассимилирующие органы	0,34	2,26	4,12	110,10	0,61	42,50
		Промывные воды	0,02	0,07	0,47	1,03	0,03	0,07
		<b>Всего</b>	0,40	2,52	4,88	113,52	0,67	43,67
	Сосна обыкновенная	Пыль	0,86	20,20	10,69	133,10	0,72	87,76
		Ассимилирующие органы	0,43	11,36	12,84	171,90	1,07	133,80
		Промывные воды	0,01	0,07	1,26	3,57	0,05	1,63
		<b>Всего</b>	1,30	31,63	24,79	308,57	1,84	223,19
ПП-2 (300 м к югу от источника)	Берёза бородавчатая	Пыль	0,08	0,06	0,47	3,56	0,45	0,35
		Ассимилирующие органы	0,30	5,96	6,48	80,90	0,85	183,20
		Промывные воды	0,03	0,13	0,05	0,88	0,04	0,50
		<b>Всего</b>	0,41	6,15	7,00	85,34	1,34	184,05
	Тополь дрожащий (осина)	Пыль	0,08	0,15	3,13	4,66	0,15	3,96
		Ассимилирующие органы	0,84	8,00	10,53	205,20	1,38	363,80
		Промывные воды	0,04	0,09	0,64	1,90	0,04	2,62
		<b>Всего</b>	0,96	8,24	14,30	211,76	1,57	370,38
	Сосна обыкновенная	Пыль	0,23	6,24	3,56	50,45	0,30	35,01
		Ассимилирующие органы	0,22	5,51	5,22	64,60	0,58	164,70
		Промывные воды	0,01	0,07	0,68	1,60	0,01	1,57
		<b>Всего</b>	0,46	11,82	9,46	116,65	0,89	201,28
Фон*	Берёза [2]	Побеги последнего года	-	0,9	8,4	-	2,3	558
	Сосна [2]	То же	-	2,6	7,8	-	1,9	398
	Сосна [18]	Хвоя сосны	-	0,1	4,3	41,8	1,7	-

<sup>1</sup> Содержание тяжелых металлов в твердых частицах (пыли), смойтой с растительных образцов.

<sup>2</sup> Содержание тяжелых металлов в промытых листьях и хвое (ассимилирующие органы).

<sup>3</sup> Содержание тяжелых металлов в промывных водах.

\* Березинский биосферный заповедник. Данные получены эмиссионно-спектральным методом.

В зоне воздействия БМЗ тополь дрожащий (осина) больше всего накапливает цинка, марганца и меди, сосна обыкновенная – цинка, марганца и свинца.

Сопоставление содержания ТМ в различных фракциях образцов показало, что в большинстве случаев преобладает накопление ТМ в

ассимилирующих органах растений. Особенно четко это проявляется в листьях тополя, в которых на ассимилирующие органы приходится около 97–98 % аккумулирующихся цинка и марганца, 90–97 % свинца.

В пробах хвои сосны обыкновенной на исследуемых пробных площадках отмечается за-

метное превышение содержания Pb, Cu и Zn, у берёзы бородавчатой – Pb по сравнению с фоновыми территориями (Березинский биосферный заповедник). Однако, в образцах сосны обыкновенной содержание Mn, а у берёзы бородавчатой и Cu значительно ниже, чем в фоновых условиях [2, 18].

В зоне воздействия стеклозавода «Неман», несмотря на меньшие концентрации ТМ в осевой пыли, по сравнению с зоной воздействия БМЗ, суммарная аккумуляция листвами/хвоей каждого из ТМ имеет тот же порядок величин (табл. 4).

В 200 м к востоку от стеклозавода «Неман» (ПП-3) берёза бородавчатая, тополь дрожащий (осина) и сосна обыкновенная в ассимилирующих органах больше всего накапливают марганца, цинка и меди. Наибольшее накопление всех рассматриваемых ТМ имеет место в ассимилирующих органах древесных растений. Доля цинка и марганца, поглощаемая листвами/хвоей, составляет более 95 % от суммарной аккумуляции элементов. Берёза бородавчатая и тополь дро-

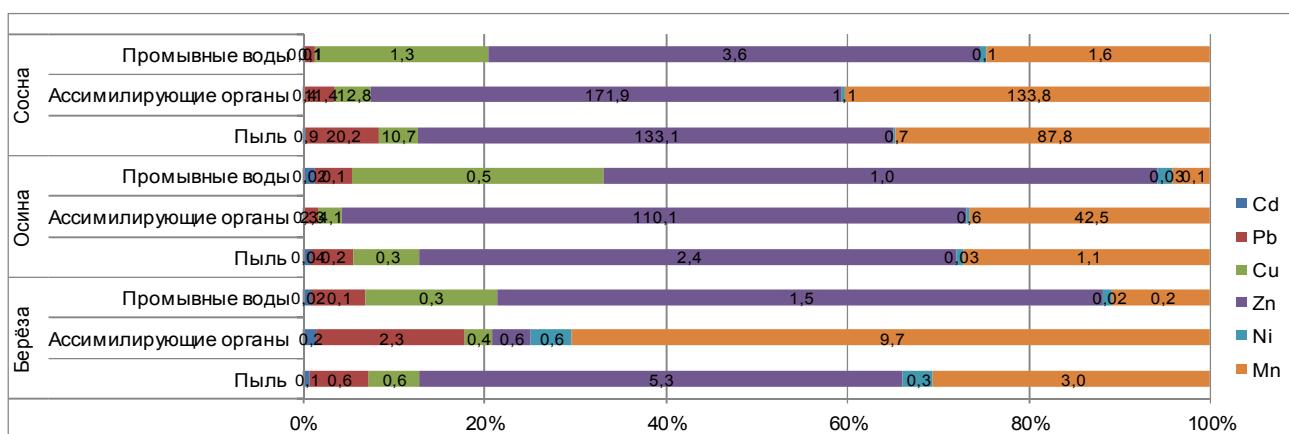
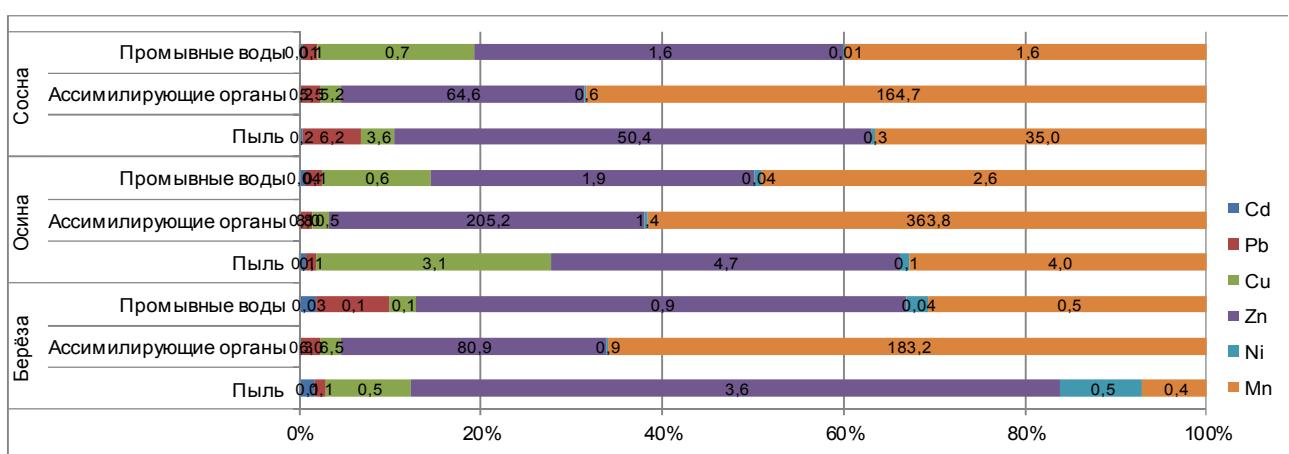
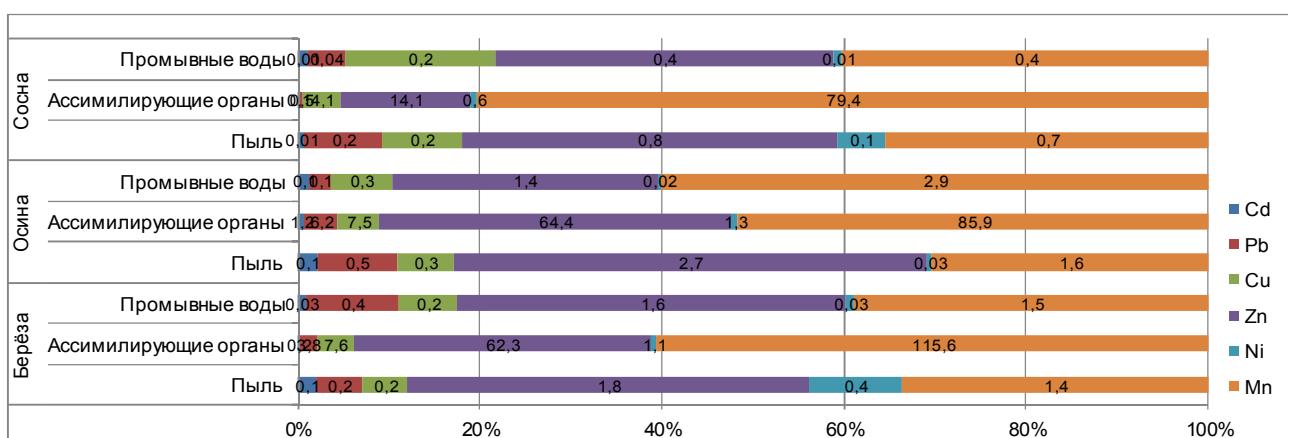
жащий характеризуются близкими величинами аккумуляции ТМ в различных фракциях растительных проб. В хвое сосны обыкновенной аккумуляция большинства ТМ ниже, чем в листьях берёзы и осины: цинка – в 4,5 раза, свинца – в 7–10 раз (рисунок).

Таким образом, сравнение доли участия ТМ в различных фракциях растительных проб показывает, что в ассимилирующих органах древесных растений, после смыыва ТЧ, обнаружено наибольшее количество ТМ, которое варьирует в зависимости от породы (марганца 59,9–99,5 %, свинца 35,9–97,1, цинка 8,1–97,0, никеля 58,1–96,2, меди 31,5–94,5 % от их общего количества в образце).

В твердой фракции пыли (ТЧ), смытой с растений (в расчете на г абс. сухого в-ва), процентное содержание ТМ значительно ниже, чем в ассимилирующих органах (например: доля цинка составила 2,1–71,8 %, свинца 1,0–63,9, меди 2,5–43,4, марганца 0,2–39,3 % от их общего количества в пробе).

**Таблица 4.** Содержание тяжелых металлов в различных фракциях проб древесных растений в зоне воздействия стеклозавода «Неман» (г. Берёзовка), мкг/г абс. сухого в-ва (листьев/хвои)

Проб-ная пло-щадка	Древесная порода	Фракции образца	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn
ПП-3 (200 м к востоку от ис-точ-ника)	Берёза бородавчатая	Пыль	0,08	0,21	0,20	1,80	0,41	1,38
		Ассимилирующие органы	0,24	3,76	7,61	62,30	1,13	115,60
		Промывные воды	0,03	0,39	0,24	1,61	0,03	1,47
		<b>Всего</b>	0,35	4,36	8,05	65,71	1,57	118,45
	Тополь дрожащий (осина)	Пыль	0,11	0,46	0,32	2,69	0,03	1,57
		Ассимилирующие органы	1,17	6,16	7,47	64,40	1,26	85,90
		Промывные воды	0,06	0,11	0,32	1,38	0,02	2,85
		<b>Всего</b>	1,34	6,73	8,11	68,47	1,31	90,32
	Сосна обыкновен-ная	Пыль	0,01	0,16	0,16	0,79	0,10	0,68
		Ассимилирующие органы	0,08	0,48	4,08	14,10	0,63	79,40
		Промывные воды	0,01	0,04	0,16	0,36	0,01	0,39
		<b>Всего</b>	0,10	0,68	4,40	15,25	0,74	80,47

**a****б****в**

**Содержание тяжелых металлов (мкг/г абс. сухого в-ва листьев/хвои) и соотношение между ними (%) в различных фракциях растительных проб: а – ПП-1, в 100 м к западу от БМЗ, б – ПП-2, в 300 м к югу от БМЗ; в – ПП-3, в 200 м к востоку от стеклозавода «Неман» (г. Берёзовка)**

**Выводы.** Проведенные химико-аналитические исследования показывают, что наибольшее количество тяжелых металлов присутствует в ассимилирующих органах (листьях и хвое) древесных растений и варьирует в зависимости от

породы и ТМ, что свидетельствует о преобладающей роли активной аккумуляции ТМ листьями и хвоей древесных пород. При этом наибольшей аккумуляцией в ассимилирующих органах отличаются марганец и цинк.

В пылевой фракции, смытой с листвьев (хвои) растений (в расчете на г. абс. сухого в-ва), процентное содержание ТМ заметно ниже, чем в ассимилирующих органах.

Небольшая часть ТМ обнаружена в промывных водах, что является подтверждением

присутствия тяжелых металлов в водорастворимой форме.

В зоне воздействия стеклозавода «Неман», несмотря на меньшие концентрации ТМ в осевшей пыли, по сравнению с зоной воздействия БМЗ, суммарная аккумуляция листвами/хвойой каждого из ТМ имеет тот же порядок величин.

## Литература

1. Аржанова, В. С. Микроэлементный состав растений как метод оценки техногенного влияния на окружающую среду / В. С. Аржанова, П. В. Елпатьевский // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – 1980. Вып. 24. – С. 15–18.
2. Вадковская, И. К. Сравнительный анализ микроэлементного состава древесной растительности заповедных территорий Беларуси // Природопользование. – Минск, 1996. – Вып. 1. – С. 143–146.
3. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей / С. В. Какарека [и др.]. – Минск, 1998.
4. Геохимия ландшафтов и техногенез / В. С. Аржанова, П. В. Елпатьевский. – М., 1990.
5. Груммо, Д. Г. Фитоиндикация рассеяния тяжелых металлов в зоне промышленных выбросов предприятий г. Могилева / Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич, И. В. Бернякович // Природные ресурсы. – 2004. № 1. – С. 114–123.
6. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу [и др.]. – Л., 1988.
7. Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью / АН ЛатвССР, Ин-т биологии. – Рига, 1985.
8. Илькун, Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев, 1978.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1992.
10. Нацыянальны Атлас Беларусі. Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Саве-це Міністэрству Рэспублікі Беларусь. – Минск, 2002.
11. Новикова, О. В. Эколо-геохимическая оценка состояния древесной растительности городских ландшафтов (на примере гг. Москвы и Кито) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / О. В. Новикова. – М., 2005.
12. Пац, А. Ч. Особенности аккумуляции пыли и тяжелых металлов древесными растениями в техногенных условиях (на примере г. Гродно) / А. Ч. Пац, Н. Е. Сосновская // Природопользование: состояние и перспективы развития : материалы науч. конф. молодых ученых (Минск, 26–27 марта 2014 г.) / редкол.: А. К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 71–74.
13. Руководство по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса. Ч. IV. Отбор проб и анализ хвои и листвы, 2000 [Электронный ресурс]. <http://www.icp-forests.org/pdf/Rmanual4.pdf>.
14. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды. В 3-х частях. Ч. 1. 4-е изд. / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2011.
15. Сергейчик, С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде / С. А. Сергейчик. – Минск, 1994.
16. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 2011 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2012.
17. Туманов, В. Н. Влияние газопылевых выбросов комбината стройматериалов г. Гродно на устойчивость Populus Trichocarpa / В. Н. Туманов, Н. С. Хваль // Сахаровские чтения 2006 года: экологические проблемы XXI века : матер. 6-й междунар. науч. конф., 18–19 мая 2006 г., г. Минск, Республика Беларусь / под ред. С. П. Кундаса, А. Е. Океанова, С. С. Позняка. – Минск, 2006. – Ч. 1. – С. 262–265.
18. Хомич, В. С. Экогоехимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск, 2004.
19. Экогоехимия городских ландшафтов / Под ред. Н. С. Касимова. – М., 1995.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 31.10.2014 г.

А. Ч. Пац

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АККУМУЛЯЦИИ ПЫЛИ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Исследовалось накопление ТМ древесными растениями в зоне воздействия Белорусского металлургического завода (г. Жлобин) и стеклозавода «Неман» (г. Берёзовка). Содержание Cd, Pb, Cu, Zn, Ni и Mn определялось в трех фракциях растительных проб: нерастворимой составляющей (пыли), в промытых растительных пробах (листьях и хвое) и растворимой составляющей.

Наибольшее количество тяжелых металлов содержится в ассимилирующих органах (листьях и хвое) древесных растений и варьирует в зависимости от породы и ТМ (марганца 59,9–99,5 %, свинца 35,9–97,1, цинка 8,1–97,0, никеля 58,1–96,2, меди 31,5–94,5% от их общего количества в пробе). Это свидетельствует о преобладающей роли активной аккумуляции ТМ листьями и хвоей древесных пород.

В зоне воздействия стеклозавода «Неман», несмотря на меньшие концентрации ТМ в осевшей пыли, по сравнению с зоной воздействия БМЗ, суммарная аккумуляция листьями/хвойю каждого из ТМ имеет тот же порядок величин.

A. Ch. Pats

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCUMULATION OF DUST AND HEAVY METALS BY WOODY PLANTS IN IMPACT ZONES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*The accumulation of HM by woody plants in the affected area of the Belarusian Metallurgical Plant (Zhlobin) and glassworks «Neman» (Berezovka) has been studied. Contents of Cd, Pb, Cu, Zn, Ni and Mn in the three samples of plant fractions: insoluble component (dust), in washed plant samples (leaves and needles) and the soluble component has been determined.*

*The greatest amount of heavy metals contains in assimilating organs (leaves and needles) of woody plants and varies depending on the breed and HM (59,9–99,5 % manganese, lead 35,9–97,1, zinc 8,1–97,0, 58,1–96,2 nickel, cuprum 31,5–94,5 % of the total amount in the sample). This testifies the dominant role of the active accumulation of leaves and pine needles of HM timbers.*

*In the area of Glassworks «Neman» impact in spite of lower concentrations of heavy metals in settled dust, compared to the impact of BMP zone, the total HM accumulation by leaves/needles has the same order of magnitude.*

**А. А. Яновский**

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

*Обоснована необходимость автоматизации радиометрической коррекции спутниковых снимков при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларуси. Предложена полностью автоматизированная методика радиометрической коррекции (радиометрическая калибровка, коррекция пропущенных строк и атмосферная коррекция) с обоснованием выбора метода атмосферной коррекции, разработанная применительно к широкомасштабному картографированию деградированных торфяных почв Беларуси и реализованная на примере VNIR каналов спектрорадиометра ASTER.*

Значительная часть осушенных в нашей стране торфяных почв в результате минерализации органического вещества (ОВ) торфа перешла в группу деградированных торфяных почв. В частности, итоги последней выполненной Госкомимуществом инвентаризации мелиорированных торфяных почв [3] показали, что к 2000 г. в республике деградировало 190,2 тыс. га, в том числе слой торфа разрушен полностью на 18,2 тыс. га (на поверхность вышли подстилающие торф минеральные породы, почти во всех случаях — песок). Согласно выполненным прогнозным расчетам [1], к 2020 г. ожидается увеличение площади деградированных торфяных почв до 325,6 тыс. га (более чем в 1,7 раз по сравнению с 2000 г.), в том числе площади минеральных остаточно торфяных, главным образом песчаных, почв до 47,9 тыс. га (более чем в 2,6 раза по сравнению с 2000 г.).

Наиболее интенсивно процессы деградации торфяных почв проявляются в Полесье. В Солигорском районе в 2000 г. уже было более 6,7 тыс. га минеральных почв, в основном песков, вышедших на поверхность после полного разрушения торфяного слоя, в Любанском — более 2,7, в Слуцком — более 1,4 тыс. га [3]. По другой оценке, выполненной Белгипроводхозом, к 2000 г. в Беларуси деградировало около 223 тыс. га торфяных почв [2]. Такие различия свидетельствуют о несовершенстве методов оценки площадей деградированных торфяных почв. Вместе с тем уже сегодня на обширных площадях деградированных торфяных почв имеет место существенное снижение балла бонитета почвы, при этом в соответствии с действующим законодательством почвы с баллом бонитета 23 и менее подлежат выведению из сельскохозяйственного оборота в связи с нерентабельностью их использования.

Решение проблемы деградации осушенных для сельского хозяйства торфяных почв следует проводить путем комбинирования трех направ-

лений: создание немецкой песчано-смешанной культуры, использование данных торфяников для выращивания многолетних трав и проведение повторного заболачивания. Выбор направления в каждом конкретном случае определяется локальными условиями, а также исходя из значения данного торфяника в составе более крупных экосистем (озерно-болотных, пойменно-болотных, суходольно-болотных) до его осушения. Создание немецкой песчано-смешанной культуры и использование торфяных почв для выращивания многолетних трав возможны только при сохранении слоя торфа, однако в настоящее время существуют лишь оценочные значения площадей деградированных торфяных почв по каждому административному району в целом, и при этом данные оценки уже существенно устарели, так как были получены до 2000 г. Таким образом, наличие картографической информации по расположению деградированных торфяных почв на уровне отдельных хозяйств позволит оценить для каждого торфяника направление его дальнейшего использования.

Картографирование деградированных торфяных почв Беларуси путем наземного полевого обследования трудоемко и продолжительно и, следовательно, является дорогостоящим даже при выделении только относительно крупных пятен деградации и практически невозможно при точном картографировании деградированных торфяных почв вследствие их больших площадей и мозаичного расположения среди участков торфяной почвы [4]. В связи с этим наиболее целесообразно проводить картографирование деградированных торфяных почв Беларуси на основе данных дистанционного зондирования.

Упомянутые особенности деградированных торфяных почв, а именно их большие площади и мозаичное расположение, сильно затрудняют проведение их картографирования также и по данным дистанционного зондирования, если оно проводится в интерактивном режиме, поэтому их

картографирование необходимо автоматизировать, при этом для автоматизации непосредственно тематической обработки необходима полная радиометрическая коррекция спутниковых снимков. В данной статье рассмотрена автоматизация требуемой радиометрической коррекции спутниковых снимков на примере VNIR (Visible Near Infrared) каналов спектрорадиометра ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer*).

**Автоматизация радиометрической коррекции.** Снимки спектрорадиометра ASTER уровня обработки L1A получены из Распределенного центра хранения данных по наземным процессам (Land Processes DAAC) Геологической службы США в рамках образовательного проекта. Для иллюстрации автоматизации радиометрической коррекции в работе использованы снимки территории Лунинецкого района. Снимки ASTER уровня обработки L1A представлены безразмерными дискретными числами, проквантованными в виде 8-битных целых чисел без знака (8-bit unsigned integers). Спектрорадиометр ASTER относится к сканерам вдоль полосы полета. Сканеры данного типа регистрируют сразу всю строку снимка с помощью массива датчиков, при этом для каждого канала и для каждого пикселя, расположенного в строке снимка, существует отдельный датчик. В результате возникает необходимость отдельной калибровки каждого датчика.

Данная калибровка проводится с помощью как прямых, так и косвенных методов, а ее результаты содержатся в виде таблицы коэффициентов радиометрического пересчета, которая вместе с данными уровня обработки L1A содержится в файле формата HDF-EOS, либо, если снимки заказаны в формате geotiff, данные таблицы коэффициентов радиометрического пересчета содержатся в отдельных ASCII файлах. Таблица коэффициентов радиометрического пересчета содержит значения углового коэффициента A (Slope/Inclination), коэффициента усиления G (Gain) и значения смещения D (Offset), которые используются для перевода безразмерных значений пикселей в значения энергетической яркости на уровне апертуры радиометра (калиброванные дискретные числа). Таким образом, A, G и D содержатся в таблице отдельно для каждого датчика каждого канала каждого оптического прибора спектрорадиометра ASTER. Например, используемые в работе каналы 1, 2 и 3N оптического прибора VNIR содержат по 4100 датчиков каждый, при этом датчик № 1 соответствует крайнему левому столбцу пикселей.

Для прибора VNIR формула пересчета согласно [9] следующая:

$$L = A \cdot V/G + D, \quad (1)$$

где  $L$  – значение энергетической яркости на

уровне апертуры радиометра ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм})$ );  $A$  – угловой коэффициент;  $V$  – пересчитываемое значение пикселя (безразмерное дискретное число);  $G$  – коэффициент усиления;  $D$  – смещение.

Очевидно, что автоматизация данного этапа не представляет сложности, особенно при использовании снимков в формате HDF-EOS, поскольку в этом случае вся необходимая информация содержится в одном файле.

Необходимо отметить, что выполнение данного этапа уже дает возможность перехода непосредственно к автоматизации тематической обработки, однако в этом случае будут существенно ограничены возможности по ее разработке. В частности, необходимо будет отказаться от использования каких-либо комбинаций спектральных каналов, а разработанную методику тематической обработки в общем случае не получится применять одновременно к нескольким снимкам. Поэтому, как правило, проводят второй этап радиометрической калибровки и атмосферную коррекцию.

Данные спектрорадиометра передаются в виде отдельных пакетов, поэтому повреждение во время передачи одного пакета приводит к потере группы пикселей. Для оптического прибора VNIR это приводит к потере одной и той же строки одновременно в каналах 1, 2 и 3N. Выполнение коррекции таких пикселей следует проводить после завершения всех этапов радиометрической коррекции, при которых значения разных пикселей пересчитываются по разным формулам. В данной работе имеется только один такой этап – пересчет безразмерных значений пикселей в значения энергетической яркости на уровне апертуры радиометра. Для сравнения можно отметить, что при проведении атмосферной коррекции на уровне отдельных пикселей или групп пикселей имеют место два таких этапа.

Коррекция пропущенных пикселей заключается в линейной интерполяции их значений по значениям примыкающих к ним неповрежденным пикселям [9]. В случае спектрорадиометра ASTER автоматизация данного этапа проводится совсем просто, поскольку метаданные в составе HDF-EOS файлов для каждого канала ASTER содержат подробное описание расположения пропущенных строк.

Рассмотренные выше этапы не зависят от последующей тематической обработки, специализация предлагаемой методики в отношении широкомасштабного картографирования деградированных торфяных почв начинается только со второго этапа радиометрической калибровки. В данной работе они включены в состав методики по следующим причинам: во-первых, снимки ASTER уровня обработки L1B уже подвергнуты передискретизации и поэтому существенно хуже подходят для картографирования деградированных торфяных почв; во-вторых, в работе ставит-

ся цель продемонстрировать автоматизацию радиометрической коррекции начиная с наиболее низкого уровня обработки спутниковых снимков, поскольку это может потребоваться, например, при адаптации данной методики к белорусскому спутнику.

Второй этап радиометрической калибровки заключается в пересчете значений энергетической яркости на уровне апертуры радиометра либо в значения коэффициента отражения на уровне апертуры радиометра, либо в значения коэффициента отражения на уровне наземного покрова (т. е. одновременно с калибровкой выполняется атмосферная коррекция).

В общем случае участки поверхности с одинаковым рельефом и коэффициентом отражения вследствие влияния атмосферы приводят к различным регистрируемым радиометром значениям яркости. Из этого очевидно, что атмосферная коррекция на уровне отдельных пикселей или групп пикселей позволяет повысить точность последующей тематической обработки. Однако для ее проведения необходимы либо измеренные для территории снимка на момент съемки значения различных параметров атмосферы, служащих в качестве входных данных для используемой при атмосферной коррекции модели переноса излучения, либо подспутниковые измерения значений коэффициента отражения поверхности. При промышленном применении ДЗ оба условия являются невыполнимыми, вместо этого используются ближайшие (по времени) доступные значения параметров атмосферы, прогнозные значения и усредненные значения, при этом в двух последних случаях точность атмосферной коррекции существенно снижается. Поскольку среди основанных на моделировании переноса излучения промышленно используемых программных модулей атмосферной коррекции в настоящее время отсутствуют бесплатные, адаптированные к спектрорадиометру ASTER, использующие оперативные данные о параметрах атмосферы и проводящие атмосферную коррекцию на уровне отдельных пикселей или групп пикселей, а имеющиеся платные программные модули, кроме фактора их существенной стоимости, имеют закрытый исходный код, что существенно усложняет их встраивание в автоматизированную систему радиометрической коррекции спутниковых снимков, в данной работе модели переноса излучения не используются.

Xue и Cracknell предложили способ атмосферной коррекции на уровне отдельных пикселей или групп пикселей, основанный на совместном использовании снимков одной и той же территории, полученных почти одновременно, но при разных углах съемки [23]. Данный способ был далее видоизменен и адаптирован для спектрорадиометра ASTER Guang с соавт. [21]. Однако предложенный вышеупомянутыми авторами

способ нельзя рекомендовать для использования при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларуси по следующим причинам.

Во-первых, используемая данными авторами для аппроксимации значений оптической плотности аэрозольного рассеяния ( $t^{\lambda}_a$ ) формула Ангстрема [6,7] применима только к относительно узким спектральным диапазонам (в частности, ее нельзя применять одновременно к ближнему ИК и видимому диапазонам), при этом точность данной формулы снижается также при уменьшении концентрации аэрозолей [16].

Во-вторых, предложенная ими методика позволяет получить значения коэффициента отражения поверхности без использования наземных измерений только для канала 3N. Для расчета коэффициента отражения других каналов прибора VNIR требуются соответствующие подспутниковые измерения оптической плотности аэрозольного рассеяния на данных каналах. Кроме того, методика Guang с соавт. [21] подходит только для однородных по коэффициенту отражения участков поверхности. В их публикации данное ограничение не упоминается, однако оно закономерно вытекает из физических основ формирования изображений каналов 3N и 3B спектрорадиометра ASTER. Дело в том, что пересчитываемым значениям пикселей канала 3N необходимо сопоставить пространственно соответствующие им значения канала 3B, однако сетка расположения пикселей данного канала существенно отличается от сетки расположения пикселей канала 3N, поскольку установочный угол между смотрящими в надир и назад оптическими приборами с учетом кривизны поверхности Земли составляет  $27,6^\circ$  [8], а разность съемки одной и той же территории равна примерно 55 с [20]. Вместе с тем следует отметить, что для плоских однородных участков поверхности при данном способе атмосферной коррекции можно полностью отказаться от необходимости подспутниковых измерений оптической плотности аэрозольного рассеяния путем использования значений двулучевой функции отражательной способности данных участков поверхности.

В-третьих, необходимо отметить, что лежащая в основе рассматриваемого способа атмосферной коррекции модель переноса излучения может применяться только для грубой оценки общего потока излучения [17].

Пересчет значений энергетической яркости на уровне апертуры радиометра в значения коэффициента отражения на уровне наземного покрова возможен также путем использование участков поверхности с известными спектральными свойствами, но поскольку при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларуси нельзя гарантировать их присутствие на каждом снимке, в данной работе подобные методы не используются.

В результате для демонстрации автоматизации атмосферной коррекции спутниковых снимков при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларусь были выбраны так называемые основанные на снимке (*image based*) методы. Главные основанные на снимке методы (из подходящих к снимкам ASTER) – DOS (*Dark Object Subtraction*) [10, 11], COSTZ [12, 14] и DOS4 [13, 14]. Применение метода COSTZ наиболее эффективно при небольших зенитных углах Солнца, и если последние существенно отличаются у совместно обрабатываемых снимков, данный метод приводит к искусственному увеличению различия рассчитанных коэффициентов отражения данных снимков. Кроме того, при особенно чистой атмосфере (а также при зенитном угле Солнца более 55° [13]) он приводит к существенному завышению значений коэффициента отражения, поэтому данный метод не подходит для наших целей (при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларусь будут использоваться снимки, полученные при существенно различных зенитных углах Солнца и состояниях атмосферы).

Сравнение эффективности классификации и выявления изменений после применения методов DOS и DOS4 показало [13], что в большинстве случаев большую точность обеспечивает метод DOS, несмотря на то что он значительно проще, чем DOS4. Это обусловлено тем, что в DOS4 делается попытка учесть влияние аэрозолей, однако используемая для этого аппроксимация во многих случаях вносит дополнительную ошибку в полученное значение коэффициента отражения.

Метод атмосферной коррекции DOS основан на предположении, что на снимке существуют пиксели, которые не отражают излучение, и их радиометрическое значение является результатом влияния атмосферы. Поскольку на Земле существует всего несколько объектов, которые можно считать абсолютно черными, для практического применения рекомендуется использовать значение, равное 0,01 [12]. При картографировании деградированных торфяных почв Беларусь наименьшим коэффициентом отражения характеризуются участки глубокой чистой воды и залипые водой участки голой торфяной почвы, однако их коэффициент отражения для каждого из VNIR каналов ASTER будет не менее 0,02. Для получения более низкого коэффициента отражения данные поверхности должны находиться в тени. Поскольку пространственное разрешение VNIR каналов ASTER равно 15 м, тень должна покрывать достаточно большую площадь. Таким образом, для территории Беларусь таких пикселей на каждом VNIR канале ASTER будет совсем немного, что является основным ограничением для применения предлагаемой в данной публикации методики для других целей (отличных от картогра-

фирования деградированных торфяных почв). В то же время торфяные почвы Беларусь, как правило, соседствуют с водоемами (естественными или построенными при осушении торфяника).

Значения энергетической яркости, соответствующие влиянию атмосферы ( $L_{\lambda, \text{атм}}$ ), определяются путем пороговой обработки гистограмм значений пикселей каналов спектрорадиометра. Каждое полученное пороговое значение пересчитывается в значение энергетической яркости на уровне апертуры радиометра ( $L_{\lambda, \text{min}DN}$ ), и из него вычитается значение энергетической яркости на уровне апертуры радиометра, соответствующее коэффициенту отражения 0,01 ( $L_{\lambda, 0,01}$ ). Однако сама пороговая обработка проводится разными исследователями по-разному. В одних работах используется минимальное значение пикселей, представленных безразмерными величинами, которому соответствует не менее  $x$  пикселей (например, для Landsat 5 некоторыми исследователями используется  $x$ , равное 1000 пикселей) [13, 22]; в других – минимальное значение пикселей, начиная с которого начинается резкий рост столбцов гистограммы [10]; в третьих – наименьшее значение пикселей каждого рассматриваемого канала [14]. Использование безразмерных величин (некалибранных значений пикселей, исходно получаемых спектрорадиометром) обусловлено тем, что метод DOS применяется для атмосферной коррекции сканеров поперек полосы полета, у которых одному каналу соответствует один сенсор. Однако спектрорадиометр ASTER относится к сканерам вдоль полосы полета, используемые в работе каналы 1, 2 и 3N оптического прибора VNIR содержат по 4100 датчиков каждый, и при согласовании их значений путем пересчета в значения энергетической яркости на уровне апертуры радиометра получаются дробные числа, что требует модификации классического метода DOS.

В данной работе адаптация метода DOS к сканерам вдоль полосы полета вместе с автоматизацией нахождения для каждого VNIR канала ASTER  $L_{\lambda, \text{min}DN}$  проведена следующим образом. Вначале необходимо ограничить диапазон для его поиска. Для этого для каждого VNIR канала рассчитывается значение энергетической яркости на уровне апертуры радиометра, соответствующее 1-му перцентилю ( $L_{p=0,01}$ ). Полученное значение корректируется таким образом, чтобы диапазон поиска делился далее на целое число частей одинаковой ширины (равной 0,1  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм})$ ). В работе данная коррекция проведена по формуле:

$$L_{\max} = L_{\min} + \text{int}(L_{p=0,01} - L_{\min}), \quad (2)$$

где  $L_{\max}$  – верхняя граница диапазона возможных значений  $L_{\lambda, \text{min}DN}$ ;  $L_{\min}$  – наименьшее значение энергетической яркости для данного канала;  $\text{int}()$  – целая часть.

Далее диапазон  $[L_{\min}, L_{\max}]$  делится на  $10 \cdot n$  полуинтервалов, где  $n = \text{int}(L_{p=0.01} - L_{\min})$ , и для каждого из них рассчитывается число пикселей, значения которых принадлежат данному диапазону значений энергетической яркости. Данная процедура повторяется 10 раз со смещением на каждой итерации границ диапазона  $[L_{\min}, L_{\max}]$  на 0,01 в большую сторону. Искомое значение  $L_{\lambda, \min DN}$  определяется как середина ближайшего к нулю диапазона, которому соответствует не менее  $\sqrt[4]{N}$  пикселей, где  $N$  – число пикселей данного канала. Можно также отметить, что максимальное возможное значение  $L_{\lambda, \min DN}$  будет равно  $L_{\max} + 0,05$ . Выбор значения  $\sqrt[4]{N}$  был проведен путем адаптации к спектрорадиометру ASTER приведенных в исследовании [10] примеров выделения пикселей, значение которых определяется атмосферным рассеянием, а также анализа гистограмм значений пикселей, получаемых по VNIR каналам ASTER. Необходимо отметить, что предложенная формула требует проверки и, вероятно, изменения при переходе к снимкам с отличающимся от прибора VNIR спектрорадиометра ASTER пространственным охватом и/или пространственным разрешением.

Пересчет значений энергетической яркости на уровне апертуры радиометра в значения коэффициента отражения на уровне наземного покрова ( $\rho$ ) при использовании метода DOS проводится по формуле:

$$\rho = \frac{(L_{\lambda} - L_{\lambda, \min DN}) \cdot \pi \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos(\theta_s)} + 0,01, \quad (3)$$

где  $L_{\lambda}$  – энергетическая яркость на уровне апертуры радиометра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм})$ ;  $d$  – расстояние на момент съемки между Землей и Солнцем в астрономических единицах;  $ESUN_{\lambda}$  – средняя надатмосферная энергетическая освещенность

для данного канала,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм})$ ;  $\theta_s$  – зенитный угол Солнца.

Можно также отметить, что в формуле (3) вместо вычитания из  $L_{\lambda, \min DN}$  значения  $L_{\lambda, 0,01}$  (т. е. использования  $L_{\lambda, \text{атм}}$ ) к коэффициенту отражения добавляется 0,01, что не влияет на получаемое значение коэффициента отражения на уровне наземного покрова.

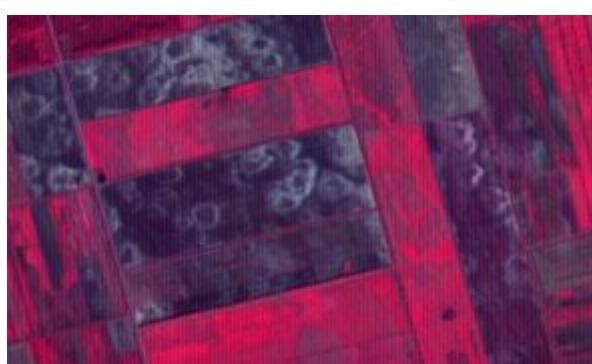
Средняя надатмосферная энергетическая освещенность рассчитана для каждого канала по формуле:

$$ESUN_{\lambda} = \frac{\int E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int S(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad (4)$$

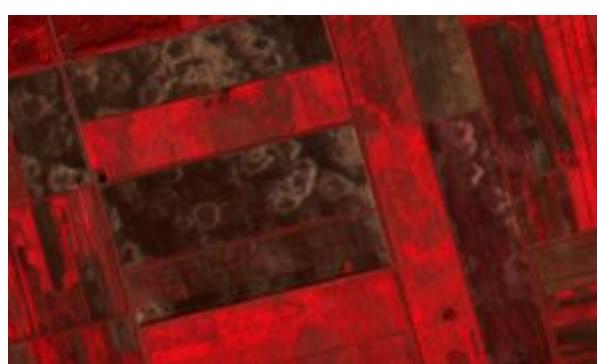
где  $E(\lambda)$  – надатмосферная энергетическая освещенность,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм})$ , [18];  $S(\lambda)$  – относительная спектральная чувствительность сенсоров данного канала;  $\lambda$  – длина волны, мкм.

Расчет  $ESUN_{\lambda}$  проведен в программной среде вычислений R [19] путем численного интегрирования, значения относительной спектральной чувствительности каждого канала спектрорадиометра были приведены к разрешению надатмосферной энергетической освещенности путем интерполяции сплайнами Akima [5], реализованными в пакете [15].

Значение зенитного угла Солнца на момент съемки содержится в метаданных в составе HDF-EOS файла, расстояние между Землей и Солнцем на момент съемки рассчитывается по известным из астрономии формулам (существуют различные варианты расчета в зависимости от требуемой точности – от совсем простой аппроксимации до достаточно объемных формул). Таким образом, можно полностью автоматизировать пересчет значений энергетической яркости на уровне апертуры радиометра в значения коэффициента отражения на уровне наземного покрова.



а



б

**Фрагмент снимка ASTER: а) до радиометрической коррекции (уровень обработки L1A); б) после радиометрической коррекции (значения коэффициента отражения на уровне наземного покрова)**

Примечание: При визуализации диапазоны значений пикселей данных фрагментов снимка были растянуты до диапазона [0, 255].

Предложенная в данной работе методика полностью автоматизированной радиометрической коррекции реализована на языке программирования Python с использованием расширения NumPy и обертки к библиотеке GDAL. На рисунке показаны исходный снимок уровня обработки L1A и конечный результат радиометрической коррекции VNIR каналов спектрорадиометра ASTER (стек из каналов 3–2–1, которые у спектрорадиометра ASTER соответствуют NIR–R–G диапазонам). Визуализация проведена с помощью упомянутой программы автора.

**Заключение.** Показана автоматизация радиометрической коррекции спутниковых снимков (радиометрическая калибровка, коррекция про-

пущенных строк и атмосферная коррекция), разработанная применительно к широкомасштабному картографированию деградированных торфяных почв Беларуси. Метод атмосферной коррекции DOS адаптирован к сканерам вдоль полосы полета, к которым относится спектрорадиометр ASTER, на примере которого реализована предложенная методика. При гарантии наличия в пределах снимка находящихся в тени участков глубокой чистой воды методика может использоваться также для другой тематической обработки. Кроме того, она может быть адаптирована для других спектрорадиометров с пространственным разрешением 10–30 м.

## Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск, 2005.
2. **Бамбалов, Н. Н.** Причины и следствия ускоренной деградации торфяных почв / Н. Н. Бамбалов, В. Я. Турutto // Белорусское Полесье, 2001. – Вып. 1. – С. 14–20.
3. **Почвы** сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: Практ. пособие / Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при СМ Республики Беларусь; ред. Н. И. Смеян и др. – Минск, 2001.
4. **Пространственная** неоднородность почвенного покрова, формирующегося при деградации мелиорированных торфяных почв Полесья / А. А. Яновский [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 76–82.
5. **Akima, H.** A method of univariate interpolation that has the accuracy of a third-degree polynomial / H. Akima // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). – 1991. – Vol. 17, N. 3. – P. 341–366.
6. **Angstrom, A.** On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air / A. Angstrom // Geografiska Annaler. – 1929. – Vol. 2. – P. 156–166.
7. **Angstrom, A.** On the Atmospheric Transmission of Sun Radiation. II / A. Angstrom // Geografiska Annaler. – 1930. – Vol. 12. – P. 130–159.
8. **ASTER DEM** performance / H. Fujisada [et al.] // Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. – 2005. – Vol. 43, N.12. – P. 2707–2714.
9. **ASTER** User's Guide Part II. Level 1 Data Products (Ver.5.1). – Earth Remote Sensing Data Analysis Center, March, 2007.
10. **Chavez, P. S.** An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data / P. S. Chavez // Remote Sensing of Environment. – 1988. Vol. 24, N. 3. – P. 459–479.
11. **Chavez, P. S.** Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral Images / P. S. Chavez // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1989. – Vol. 55, Iss. 9. – P. 1285–1294.
12. **Chavez, P. S.** Image-Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved / P. S. Chavez // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1996. – Vol. 62, Iss. 9. – P. 1025–1036.
13. **Classification** and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? / C. Song [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2001. – Vol. 75, N. 2. – P. 230–244.
14. **Evaluation** of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output / Moran [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 1992. – Vol. 41, Iss. 2-3. – P. 169–184.
15. **Gebhardt, A.** akima: Interpolation of irregularly spaced data [Electronic resource] / A. Gebhardt, H. Akima – R package version 0.5-10. – 2013. – Mode of access : <http://CRAN.R-project.org/package=akima> Date of access: 15.05.2013.
16. **Kaskaoutis, D. G.** Comparison of the Angstrom parameters retrieval in different spectral ranges with the use of different techniques / D. G. Kaskaoutis, H. D. Kambezidis // Meteorology and Atmospheric Physics. – 2008. – Vol. 99, N. 3-4. – P. 233–246.
17. **Kondratyev, K. Y.** Radiation in the Atmosphere / K. Y. Kondratyev 1969. – N. Y.: Academic Press.
18. **Kurucz, R. L.** High resolution irradiance spectrum from 300 to 1000 nm / R. L. Kurucz // arXiv preprint astro-ph/0605029. – 2006.
19. **R: A language** and environment for statistical computing [Electronic resource] / R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria. 2013. – ISBN 3-900051-07-0. – Mode of access : <http://www.R-project.org/>. – Date of access : 15.05.2013.
20. **Seiz, G.** High-resolution cloud motion analysis with Meteosat-6 Rapid Scans, MISR and ASTER / G. Seiz, M. Baltsavias, A. Gruen // EUMETSAT Meteorological Satellite Conference. – Weimar, 28 September–3 October 2003, EUM P39, 2003. – P. 352–358.

21. **Simultaneous** determination of aerosol optical thickness and surface reflectance using ASTER visible to nearinfrared data over land / J. Guang [et al.] // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – Vol. 32. – P. 6961–6974.

22. **Teillet, P. M.** On the dark target approach to atmospheric correction of remotely sensed data / P. M. Teillet, G. Fedosejevs // Canadian Journal of Remote Sensing. – 1995. – Vol. 21. – P. 373–387.

23. **Xue, Y.** Operational bi-angle approach to retrieve the Earth surface albedo from AVHRR data in the visible band / Y. Xue, A. P. Cracknell // International Journal of Remote Sensing. – 1995. Vol. 16. – P. 417–429.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 25.07.2014 г.

**А. А. Яновский**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ**

Значительная часть осушенных в Беларуси торфяных почв в результате минерализации ОВ торфа перешла в группу деградированных торфяных почв, точное расположение которых на уровне отдельных хозяйств в настоящее время неизвестно. Большие площади и мозаичное расположение сильно затрудняют проведение их картографирования по данным дистанционного зондирования, если оно проводится в интерактивном режиме, поэтому их картографирование необходимо автоматизировать, причем для автоматизации непосредственно тематической обработки необходима радиометрическая коррекция спутниковых снимков. В статье обоснован выбор метода атмосферной коррекции и рассмотрена автоматизация радиометрической коррекции спутниковых снимков при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларуси на примере VNIR каналов спектрорадиометра ASTER. Предложенная методика, которая включает автоматизацию радиометрической калибровки, коррекции пропущенных строк и атмосферной коррекции, была реализована на языке программирования Python с использованием расширения NumPy и обертки к библиотеке GDAL.

**A. A. Yanovsky**

### **AUTOMATION OF RADIOMETRIC CORRECTION OF SATELLITE IMAGES WHEN MAPPING THE DEGRADED PEAT SOILS OF BELARUS**

*A considerable part of drained peat soils in Belarus as a result of mineralization of peat OM moved to the group of degraded peat soils, the precise location of which within individual collective farms is currently unknown. Large areas and mosaic location make very difficult to conduct their mapping on the basis of remote sensing data if it is conducted in an interactive mode, so the mapping needs automation, while thematic processing automation requires radiometric correction of satellite imagery. In the article the choice of the method of atmospheric correction of satellite images is justified and their radiometric correction automation is considered for the purpose of large-scale mapping of the degraded peat soils of Belarus on example of VNIR channels of spectroradiometer ASTER. The proposed methodology, which includes the automation of radiometric calibration, missed lines correction and atmospheric correction has been implemented in Python using NumPy extension and the wrappers for the GDAL library.*

**А. А. Яновский, Н. Н. Бамбалов**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ СРЕДНЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

*Показана автоматизация тематического картографирования поверхностного покрова используемых в сельском хозяйстве осушенных торфяных почв Беларуси по спутниковым снимкам в видимом и ближнем ИК диапазонах с пространственным разрешением 10–15 м на примере VNIR каналов спектрорадиометра ASTER.*

Общая площадь болот Беларуси до начала широкомасштабной мелиорации составляла 2939 тыс. га, или 14,2 % территории страны, из них 1505 тыс. га в настоящее время осушено. Значительная часть осушенных в Беларуси торфяных почв в результате минерализации органического вещества (ОВ) торфа перешла в группу деградированных торфяных почв, площади и местонахождения которых на уровне отдельных хозяйств в настоящее время неизвестны. Многие используемые в сельском хозяйстве осушенные торфяные почвы представляют собой мозаичные комплексы из участков торфяных и деградированных торфяных почв [9], которые сильно различаются по водному, тепловому и пищевому режимам. Формирующаяся пестрота почвенного плодородия в пределах одного поля или рабочего участка снижает продуктивность земель как за счет непосредственно неоднородности, приводящей к различию необходимых агротехнических приемов в отношении различных частей поля, так и за счет снижения баллов бонитета торфяных почв при их деградации. Большие площади и мозаичное расположение среди участков торфяной почвы существенно затрудняют получение любой количественной оценки их современного состояния наземными методами и делают актуальным использование данных дистанционного зондирования (ДЗ). Однако указанные характеристики осушенных торфяных почв Беларуси затрудняют их картографирование также и по данным ДЗ, если оно проводится в интерактивном режиме, поэтому его необходимо автоматизировать.

Белорусские ученые занимаются данной проблемой уже более 20 лет [3, 12], однако до сих пор отсутствуют автоматизированные методики тематического картографирования поверхности используемых в сельском хозяйстве осушенных торфяных почв (некоторые из предложенных методик содержат отдельные элементы автоматизации, однако данные методики требуют участия человека в идентификации каждого из получаемых при кластеризации классов с конкретным типом поверхностного покрова, т. е. эти методики не являются действительно автомати-

зованными, а сама идентификация требует для каждого торфяного месторождения наземные данные (эталонные участки)). В целом следует отметить, что публикации по автоматизированному картографированию деградированных торфяных почв по мультиспектральным спутниковым снимкам любого пространственного разрешения отсутствуют как в русскоязычных, так и в англоязычных журналах.

В данной работе предложена автоматизация тематического картографирования поверхности используемых в сельском хозяйстве Беларуси мелиорированных торфяных почв (осушенных для сельского хозяйства и переданных ему выработанных торфяных месторождений) по спутниковым снимкам в видимом и начальной области ближнего ИК диапазонах с пространственным разрешением 10–15 м без непосредственного участия человека при автоматизации всего процесса обработки спутниковых снимков начиная от минимального уровня их обработки до конечных карт, причем предлагаемая методика не требует использования наземных данных и применима к различным используемым в сельском хозяйстве Беларуси мелиорированным торфяным почвам. Выбор пространственного разрешения 10–15 м обусловлен, во-первых, возможностью получения для исследования не подвергавшихся передискретизации снимков спектрорадиометра ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer*) (пространственное разрешение VNIR (*Visible Near Infrared*) каналов спектрорадиометра ASTER равно 15 м в надире) и, во-вторых, с целью показать перспективы использования для решения данной задачи снимков Белорусского космического аппарата (БКА), пространственное разрешение мультиспектральных каналов которого равно 10,5 м в надире. Во время выполнения работы снимки БКА можно было получить только без коэффициентов радиометрического пересчета, необходимых для проведения радиометрической калибровки, поэтому в данной работе они не используются.

Снимки спектрорадиометра ASTER уровня обработки L1A получены из Распределенного

центра хранения данных по наземным процессам (Land Processes DAAC) Геологической службы США в рамках образовательного проекта. Их автоматизированная обработка от уровня L1A до тематических карт проведена с помощью разработанной авторами программы (реализована на языке программирования Python с использованием расширения NumPy и оберток к библиотекам GDAL и OTB). Радиометрическая коррекция включала радиометрическую калибровку, коррекцию пропущенных строк и атмосферную коррекцию по модифицированному методу DOS (Dark Object Subtraction) (подробно описана в статье «Автоматизация радиометрической коррекции спутниковых снимков при картографировании деградированных торфяных почв Беларусь», опубликованной в данном сборнике). Программа позволяет получать геопривязанные результаты в векторном виде, при этом масштаб каждой получаемой векторной карты зависит от точности геопривязки, количества и распределения по снимку используемых наземных контрольных точек, а также от используемой цифровой модели рельефа (при ее наличии) и в данной работе не рассчитывается.

Для разработки методики использован снимок ASTER с датой съемки 01.10.2011. Подспутниковые измерения проведены 05.10.2011. Для этого на охваченной снимком ASTER территории Солигорского и Лунинецкого районов были найдены на посевах сельскохозяйственных культур и геопривязаны с помощью GPS-приемника пять визуально относительно однородных по степени деградации участков торфяной и деградированной торфяной почвы (участки 2, 4, 5 размером 60×60 м, участок 1 размером 40×40 м и участок 3 размером 120×120 м). На данных участках были отобраны пробы из пахотного слоя почвы для определения содержания Сорг, место отбора каждой пробы было геопривязано. Пробы отбирались в центре каждого участка (две пробы) и через каждые 10 м (участки на сельскохозяйственных полях в виде мозаичных комплексов из торфяной и деградированной торфяной почвы) или 20 м (на участке торфяной почвы с глубиной торфа более 1 м) по четырем направлениям от центра, примерно ориентированным по сторонам света.

Для каждой пробы была определена величина остатка после прокаливания (ОПП), в зависимости от которой далее выбирался метод определения содержания в пробе Сорг: для проб с ОПП 85 % и более использовался метод Тюрина [11], менее 85 % – метод Анстета в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Николаевой [8]. Полученные значения Сорг пересчитывались в значения ОВ путем умножения на 1,724, как принято в почковедении [1, 7].

Для расположения мест отбора проб в системе координат используемого снимка ASTER во время проведения подспутниковых исследований были измерены GPS-координаты наземных контрольных точек (НКТ). В качестве последних использовались объекты, которые можно локализовать на снимке ASTER (центры пересечения и развязок дорог, центры мостов, центры резких поворотов дороги), равномерно (насколько это возможно) охватывающие территорию, на которой расположены участки отбора проб почвы. Всего были получены координаты 20 НКТ, координаты некоторых из них измерялись несколько раз с интервалом в несколько часов и далее усреднялись. Локализация НКТ на снимке ASTER проведена в программе Visat [16]. На основе полученных в обоих системах координат значений НКТ была рассчитана RPC модель оптического прибора VNIR, т. е. выполнена аппроксимация значений НКТ рациональными полиномами (Rational Polynomial Coefficients, RPC). Следует отметить, что при расчете RPC модели прибора VNIR в данном случае не использовались значения высот точек геопривязки поскольку осушенные торфяные почвы Беларусь характеризуются плоским рельефом, а ошибка определения высоты по данным GPS-приемника более чем в 2 раза выше ошибки определения горизонтальных координат, которая составляла 3–5 м. В отношении получения значений высот из имеющихся в открытом доступе цифровых моделей рельефа необходимо отметить, что их использование привело бы к еще большему (по сравнению с использованием высот с GPS-приемника) снижению точности полученной RPC модели прибора вследствие имеющихся в них ошибок и более низкого (по сравнению с VNIR каналами ASTER) пространственного разрешения. Вследствие расположения НКТ преимущественно внутри территории, ограниченной участками отбора проб и использования при этом минимально допустимого для расчета RPC модели количества НКТ, расположение мест отбора проб в системе координат снимка ASTER оказалось смещенным на 1–2 пикселя (при размере пикселя, соответствующем элементарному участку сканирования) от их настоящего расположения (данная ошибка оценивалась по полученному расположению мест отбора проб относительно некоторых элементов рельефа) приблизительно в направлении, противоположном направлению от центроида участка (центр масс координат точек отбора проб) к центроиду НКТ (центр масс координат точек НКТ). Для коррекции данного смещения расположения мест отбора проб центроиды участков 1, 3, 4 и 5 были перемещены приблизительно в направлении центроида НКТ на расстояние 1–2 пикселя в системе координат снимка

ASTER. Координаты точек отбора проб были пересчитаны для новых расположений соответствующих центроидов. Участок 2 расположен между другими участками, охвачен НКТ с различных сторон и в коррекции расположения центроида не нуждался.

Прежде чем переходить непосредственно к методике картографирования, необходимо оговорить что в настоящей работе понимается под «автоматизацией картографирования деградированных торфяных почв Беларусь». Согласно исследованию [2], существуют три стадии деградации торфяных почв: торфяно-минеральные (содержание ОВ 15–30 %), органо-минеральные (ОВ 2–15 или 3–15 % в зависимости от гранулометрического состава материнской породы) и постторфяные (ОВ ≤ 2 для подстилаемых песками и ОВ ≤ 3 % для подстилаемых супесями и суглинками). В данной работе предлагается автоматизация разделения используемых в сельском хозяйстве мелиорированных торфяных почв (осущенных для сельского хозяйства торфяников и переданных ему торфяных месторождений после их разработки) на три класса: торфяные + тор-

фяно-минеральные (один класс при картографировании), органо-минеральные и постторфяные почвы. Предварительное определение границ используемых в сельском хозяйстве мелиорированных торфяных почв в данной работе не проводится по следующим причинам. Во-первых, данные границы известны и могут быть извлечены из существующих земельных информационных систем (ЗИС). Во-вторых, используемые в данной работе спутниковые снимки ASTER не позволяют провести отделение торфяных почв от неторфяных с достаточной точностью. Можно отметить, что если данные границы неизвестны, решение проблемы картографирования деградированных торфяных почв следует проводить, например, с помощью самолетного ДЗ на основе измерения γ-излучения от распада естественных радионуклидов в почве. В этом случае задача картографирования заключается в определении границ участков торфяной почвы.

Используемый в работе оптический прибор VNIR спектрорадиометра ASTER имеет три канала со следующими спектральными характеристиками (см. таблицу) [14].

#### Спектральные характеристики оптического прибора VNIR спектрорадиометра ASTER

Канал	Центральная длина волны, нм	Центральный момент, нм	Ширина канала по уровню 0,5 полосы пропускания фильтра, нм
1	556	556	90
2	659	661	60
3N	807	807	100

В опубликованных материалах отсутствуют описания индексов и более сложных комбинаций каналов, разработанных применительно к автоматизированному картографированию деградированных торфяных почв и использующих только спектральные диапазоны, соответствующие VNIR каналам ASTER. Разработка такого специализированного индекса требует обширных синхронизированных во времени со спутниковой съемкой подспутниковых измерений при разном состоянии картиграфируемой поверхности, поэтому в данной работе используется более простой, но физически обоснованный способ, заключающийся в пороговой обработке канала, на котором максимальна абсолютная разница между значениями спектрального коэффициента отражения выделяемых классов поверхностного покрова и минимально влияние различных природных факторов, модифицирующих собственные значения спектральных коэффициентов отражения данных классов. Необходимо отметить, что, несмотря на простоту реализации, пороговая обработка каналов широко используется в настоящее время в составе различных алгоритмов обработки данных ДЗ, а основным препятствием для ее приме-

нения является только несовершенство методов атмосферной коррекции.

Согласно данным [5], около 90 % площади осущенных торфяных почв Полесья подстилается мощными рыхлыми оглеенными песками. Для остальных осущенных торфяных почв Беларусь имеются только более грубые оценки, однако и в этом случае большинство осущенных торфяных почв подстилается рыхлыми песками. Деградация подстилаемых супесями и суглинками торфяных почв имеет гораздо меньшие последствия для сельского хозяйства по сравнению с деградацией торфяных почв, подстилаемых песками. Это обусловлено тем, что глина обладает высокой влагоемкостью, при этом образование глино-гумусовых комплексов приводит к комковатой структуре почвы (что улучшает ее аэрацию), а сельскохозяйственная ценность торфяных почв определяется их водно-воздушным режимом. В результате пока содержание ОВ в таких почвах достаточно для маскирования глинистых минералов они визуально соответствуют черноземовидным почвам и не уступают им по плодородию [6]. По упомянутым выше причинам при рассмотрении

далее картографирования постторфяных почв предполагается, что они образовались на месте торфяников, подстилаемых песками, и используется граничное содержание ОВ, равное 2 % для всех постторфяных почв. В этом случае подстилаемые супесями и суглинками постторфяные почвы остаются в классе органоминеральных почв.

Коэффициенты спектральной яркости торфяной почвы, измеренные в полевых условиях при влажности почвы 311,5 и 206,5 %, приведены в работе [4], из результатов которой следует, что коэффициент спектральной яркости торфяной почвы в видимом диапазоне спектра постепенно повышается с увеличением длины волны, оставаясь в целом весьма низким.

Коэффициент спектральной яркости песка сильно зависит от содержания в нем примесей, гумуса, а также от влажности песка, однако в целом имеет место возрастание данного коэффициента при увеличении длины волны в видимом диапазоне спектра.

В синей и зеленой областях спектра коэффициент спектральной яркости песка растет более интенсивно, чем коэффициент спектральной яркости торфяной почвы, следовательно, максимальная абсолютная разница между значением спектрального коэффициента отражения торфяной почвы и значением спектрального коэффициента отражения деградированной торфяной почвы расположена либо в красной области спектра, либо в области, называемой «кромка красного» (700–740 нм).

Из природных факторов, которые могут влиять на спектральные коэффициенты отражения торфяной и деградированной торфяной почвы, прежде всего, необходимо отметить растительность, поскольку при картографировании торфяная и деградированная торфяная почвы должны быть без растительного покрова. Но в таком виде почва существует только непродолжительный период после вспашки, и появляющаяся затем растительность вносит вклад в спектральный коэффициент отражения поверхности поля. Максимум поглощения растительностью квантов света приходится на диапазон 670–680 нм, при этом у разных видов, а также у одного и того же вида при различном физиологическом состоянии обладает наибольшего поглощения слегка варьируется, поэтому в данном диапазоне при условии невысокого проективного покрытия растительности ее вклад в спектральный коэффициент отражения поверхности поля является минимальным.

Таким образом, спектральный диапазон, выбранный с точки зрения устойчивости методики картографирования деградированных торфяных почв к наличию на поверхности поля небольшого количества растительности, располагается внутри диапазона, выбранного на основании максимума абсолютной разницы. Необходимо отметить, что увеличение коэффициента отражения растительности происходит довольно

плавно при движении вдоль спектра от выбранного диапазона в сторону более коротких длин волн, однако при движении в сторону больших длин волн начинается резкое увеличение спектрального коэффициента отражения растительности, поэтому выбранный спектральный диапазон может быть расширен только в сторону более коротких длин волн без существенной потери устойчивости методики картографирования деградированных торфяных почв к наличию на поверхности поля небольшого количества растительности. Из каналов ASTER данному диапазону в наибольшей степени соответствует канал 2 (0,63–0,69 мкм).

Из других природных факторов, модифицирующих значения спектрального коэффициента отражения торфяной и деградированной торфяной почв, необходимо в первую очередь рассмотреть влияние послеуборочных растительных остатков. Спектральный коэффициент отражения растительных остатков принимает в синей области спектра наименьшее значение во всем видимом диапазоне, а в целом имеет место увеличение данного коэффициента при увеличении длины волны в видимом диапазоне спектра. Из этого следует, что в синей области спектра вклад послеуборочных растительных остатков в спектральный коэффициент отражения поверхности поля является минимальным. Кроме того, на синюю область спектра приходится второй максимум поглощения растительностью квантов света. Вместе с тем для синей области спектра абсолютная разница между значением спектрального коэффициента отражения торфяной почвы и значением спектрального коэффициента отражения деградированной торфяной почвы будет значительно меньше, чем для диапазона 650–680 нм. Кроме того, в синей области спектра имеет место гораздо более сильное рассеяние света, чем для диапазона 650–680 нм, поскольку для абсолютно чистой атмосферы (рассеяние производится только молекулами газов) рассеяние обратно пропорционально четвертой степени длины волны.

Спектрорадиометр ASTER не имеет канала в синей области, поэтому для учета влияния растительных остатков в настоящей работе существует только одна возможность — использование канала ASTER в зеленой области. По сравнению с синей областью спектра в данной области сильнее влияние послеуборочных растительных остатков на значение спектрального коэффициента отражения поверхности почвы, однако меньше влияние атмосферы, что при несовершенстве атмосферной коррекции (а также при невысоком радиометрическом разрешении) может оказаться более важным.

Кроме растительности и послеуборочных растительных остатков, значение спектрального коэффициента отражения торфяной и деградированной торфяной почв зависит от их влажности. Влияние влажности почвы на спектральный коэффициент отражения торфяной почвы в видимой области повышается при увеличении дли-

ны волны [4], следовательно, влияние влажности будет минимальным в синей области спектра.

Влияние степени разложения и ботанического состава торфяной почвы на точность разделения деградированной и недеградированной торфяной почвы не существенно, поскольку уже начиная с 25–30 % содержания в торфяной почве ОВ пахотный слой утрачивает морфологию торфяного горизонта, а торфяные частицы становятся сильно измельченными [2], при этом торфяная почва любого ботанического состава и степени разложения характеризуется увеличением спектрального коэффициента отражения в видимом диапазоне по мере развития процессов деградации.

В отношении канала ЗН спектрорадиометра ASTER необходимо отметить, что на данный спектральный диапазон приходится резкое возрастание коэффициента отражения растительности и растительных остатков, поэтому данный канал не подходит для картографирования рассматриваемых классов поверхностного покрова.

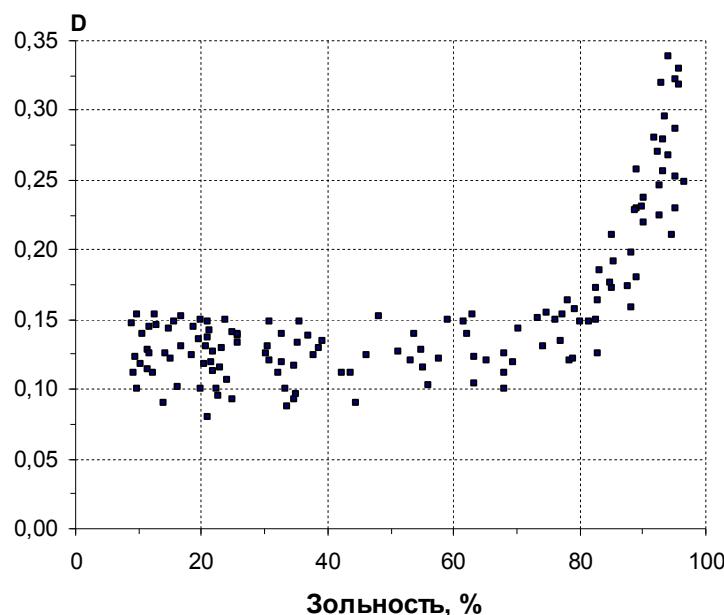
Таким образом, для картографирования торфяных и деградированных торфяных почв из VNIR каналов ASTER в наибольшей степени подходит канал 2. Значение коэффициента отражения подстилаемых песками находящихся на разных стадиях деградации торфяных почв Беларуси в соответствующем данному каналу диапазоне длин волн определяется содержанием в почве ОВ и ее влажностью [13].

Выделение трех указанных выше классов поверхностного покрова (торфяные и торфяно-минеральные, органо-минеральные и постторфяные почвы) равносильно определению двух границ (представленных двумя значениями спектрального коэффициента отражения) между данными классами. Изменение положения первой границы под влиянием влажности почвы гораздо сильнее, чем изменение положения второй границы по следующим причинам.

Значения спектрального коэффициента отражения почвы в видимом диапазоне уменьшаются при возрастании как содержания в ней ОВ, так и ее влажности и, напротив, увеличиваются при повышении содержания песка, при этом полевая влагоемкость ОВ значительно выше, чем песка, в результате чего содержание воды в торфяной почве постепенно уменьшается по мере увеличения в ней массовой доли песка, т. е. развития процесса деградации. Кроме того, значение спектрального коэффициента отражения почвы в видимом и близнем ИК диапазонах полностью определяется ее верхним слоем толщиной несколько миллиметров, а поскольку съемка проводится при солнечной погоде (иначе земная поверхность будет закрыта облаками) в климатических условиях Беларуси и при отсутствии растительного покрова, данный слой почвы на мо-

мент съемки, как правило, находится в состоянии, близком к воздушно-сухому, при этом равновесная с атмосферой влажность данного слоя тем меньше, чем больше в нем содержание песка. Таким образом, учет влажности почвы позволит в основном увеличить точность разделения торфяно-минеральной и органо-минеральной почвы. Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствуют данные спутникового ДЗ для определения влажности почвы в операционном режиме (кроме пассивных микроволновых сканеров с разрешением десятки километров, однако они представляют только усредненные значения влажности поверхности, на которые влияют расположенные в пределах элементарных участков сканирования водоемы, густая растительность и пр.). Существует множество экспериментальных методик для определения влажности почвы по самым различным диапазонам спектра, однако все они содержат некоторые условия, выполнение которых нельзя гарантировать при широкомасштабном картографировании деградированных торфяных почв Беларуси (например, определение влажности поверхностного слоя почвы по данным ДЗ в тепловом диапазоне требует либо отсутствия ветра на момент съемки, либо точного учета его влияния, поскольку ветер существенно изменяет значение видимой температуры влажной почвы [15]).

Объединение при картографировании торфяной и торфяно-минеральной почв в один класс обусловлено тем, что их спектральная отражательная способность при 660 нм при воздушно-сухой влажности почвы различается незначительно, при этом разность их спектральной отражательной способности сопоставима с изменением спектральной отражательной способности каждой из них при наблюдаемых на данных сельскохозяйственных полях изменениях влажности почвы. В то же время для оставшихся стадий деградации спектральная отражательная способность при 660 нм существенно отличается и по сравнению с торфяной почвой, и между собой (рис. 1, а также результаты работы [10]), и при этом влияние влажности почвы на результаты картографирования постепенно уменьшается по мере увеличения содержания в почве песка. В результате по снимкам VNIR каналов спектрорадиометра ASTER в автоматическом режиме и без использования дополнительных данных возможно разделение используемых в сельском хозяйстве мелиорированных торфяных почв (осущенных для сельского хозяйства торфяников и переданных ему торфяных месторождений после их разработки) на три класса: торфяные и торфяно-минеральные, органо-минеральные и постторфяные почвы при условии, что на картографируемых почвах отсутствуют растительность и послеурбочные растительные остатки.



**Рис. 1. Зависимость величины спектральной отражательной способности  $D$  при 660 нм воздушно-сухих просеянных через сите с ячейми 0,25 мм образцов торфяной и деградированной торфяной почв, развивающихся на осоково-гипновом торфе со степенью разложения 25–30 %, от зольности**

Выбор значений спектрального коэффициента отражения почвы, соответствующих граничным значениям содержания ОВ между торфяно-минеральной и органо-минеральной и между органо-минеральной и постторфяной почвами (пороговых значений канала 2 ASTER), проведен путем сопоставления с наземными подспутниковыми измерениями содержания в почве Сорг результатов картографирования данных почв по снимкам спектрорадиометра ASTER при использовании разных пороговых значений канала 2 ASTER. Кроме того, использовались подспутниковые качественные оценки степени деградации торфяной почвы на полях, где расположены участки отбора проб почвы, а именно отсутствие на обследованных частях полей постторфяных почв. В результате граничному значению содержания ОВ, разделяющему торфяно-минеральную и органо-минеральную почвы (15 % ОВ) в наибольшей степени соответствует значение спектрального коэффициента отражения почвы в спектральном диапазоне канала 2 ASTER, равное 0,06, а граничному значению содержания ОВ, разделяющему органо-минеральную и постторфяную почвы (2 % ОВ) – равное 0,15.

При проведении подспутниковых измерений пробы почвы отбирались из пахотного слоя с глубины 0–5 см. Однако при ветровой эрозии деградированных торфяных почв с поверхности поля в большей степени выдуваются частицы торфа как более легкие по сравнению с частица-

ми песка. В результате поверхностный слой деградированных торфяников характеризуется повышенным содержанием песка по сравнению с нижележащим слоем почвы, из которого проводился отбор проб. Данное смещение учитывалось в работе при определении значения спектрального коэффициента отражения почвы, соответствующего граничному значению содержания ОВ, разделяющему органо-минеральную и постторфяную почвы.

На рис. 2 показаны результаты подспутниковых измерений содержания в почве Сорг, наложенные на результаты автоматизированного картографирования данных участков поверхности. Значения Сорг для центров участков отбора проб получены путем усреднения по соответствующему каждому центру двум пробам (кроме участка 1, в центре которого была отобрана одна прока почвы). Для лучшего представления результатов картографирования (размещения подписей к точкам отбора проб и сглаживания границ) их пространственное разрешение увеличено вначале в 8 раз с передискретизацией по методу «ближайший сосед», а затем еще в 8 раз со сглаживанием границ классов с использованием фильтра Ланцша. Присутствие на одном участке растительности обусловлено сельхозпосевами, которые были убраны в промежуток времени между спутниковой съемкой (01.10.2011) и подспутниковыми исследованиями (05.10.2014).

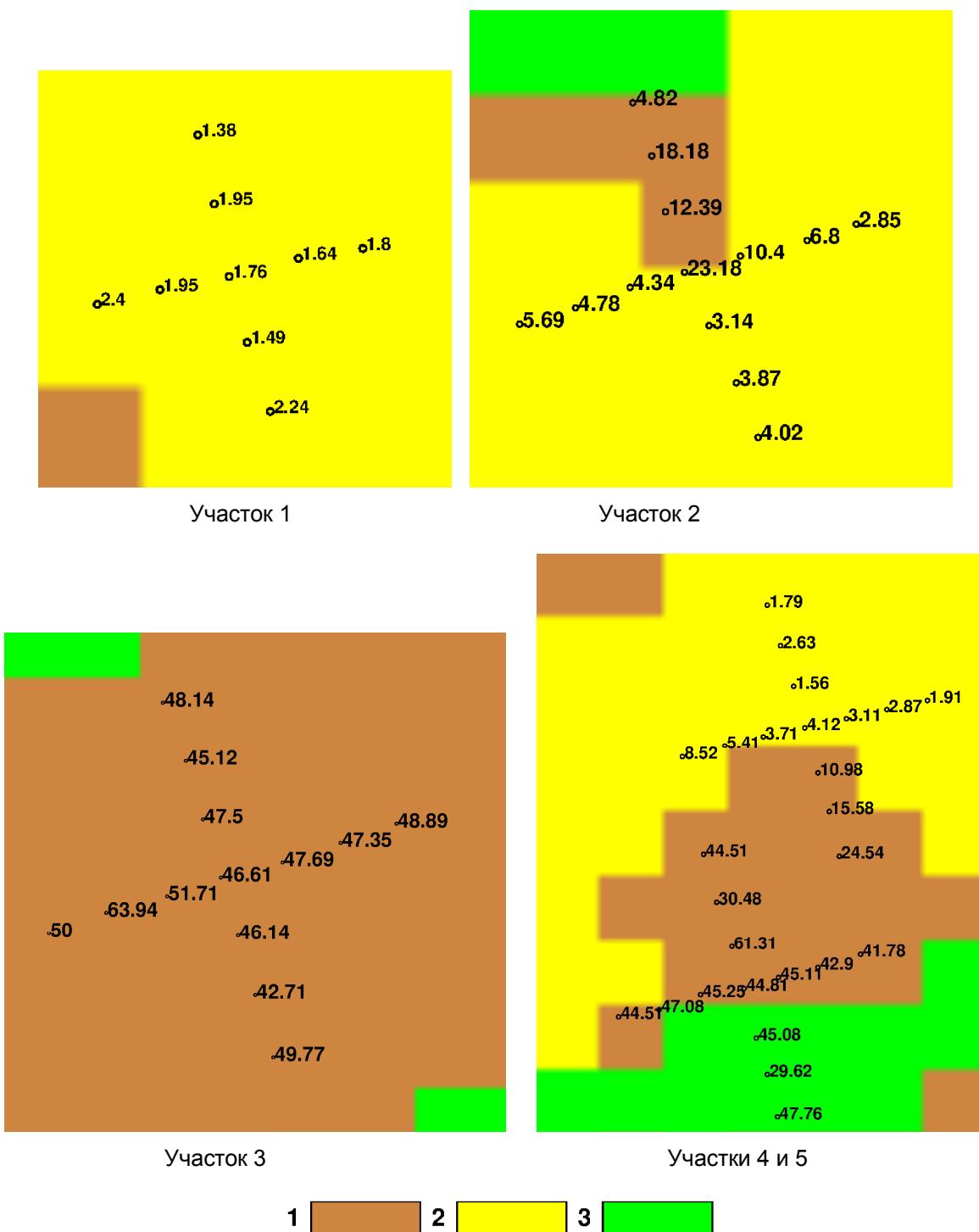


Рис. 2. Результаты подспутниковых измерений содержания в почве Сорг (%), наложенные на результаты автоматизированного картографирования данных участков поверхности (участков сельхозполов на территории Лунинецкого и Солигорского районов): 1 – торфяные и торфяно-минеральные почвы; 2 – органо-минеральные почвы; 3 – растительный покров

**Заключение.** По спутниковым снимкам в видимом и ближнем ИК (начальная область ближнего ИК) диапазонах с пространственным разрешением 10–15 м в автоматическом режиме возможно картографирование используемых в сельском хозяйстве мелиорированных торфяных почв (осущенных для сельского хозяйства торфяников и переданных ему торфяных месторож-

дений после их разработки) с выделением трех классов: торфяные + торфяно-минеральные, органические и постторфяные почвы при условии, что на картографируемых почвах отсутствуют растительность и послеуборочные растительные остатки.

Поскольку используемый в работе метод атмосферной коррекции принимает равной еди-

нице величину прозрачности атмосферы и равной нолю величину спектральной плотности на уровне поверхности обусловленного рассеянием в атмосфере падающего потока излучения, увеличение содержания в атмосфере аэрозолей приводит к снижению точности автоматизированной обработки. Кроме того, метод DOS не учитывает поглощения излучения водяным паром и озоном, что из VNIR каналов ASTER в наибольшей степени влияет на атмосферную коррекцию канала 3N. Для повышения точности определе-

ния предложенных классов поверхностного покрова следует при проведении атмосферной коррекции вместо метода DOS перейти к использованию модели переноса излучения (применяющей оперативные данные о параметрах атмосферы и проводящей атмосферную коррекцию на уровне отдельных пикселей или групп пикселей), при этом, вероятно, потребуется скорректировать полученные в данной работе для канала 2 ASTER пороговые значения.

## Литература

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – 2-е изд. – М., 1970.
2. Бамбалов, Н. Н. Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Почвоведение. – 2005. – № 1. – С. 29–37.
3. Зайцева, В. А. Выбор информативных спектральных каналов для определения степени деградации мелиорированных торфяных почв с различной влажностью / В. А. Зайцева, С. В. Никоненко, З. А. Ничипорович // Журн. прикладн. спектроскопии. – 1995. – Т. 62, № 1. – С. 53–58.
4. Исследование оптических и физико-химических свойств почв Беларуси. Ч. 1. Каталог спектральных и физико-химических свойств почв Беларуси / А. Ю. Жумар [и др.]. – Минск, 1992. – 107 с. – (Препринт / Респ. науч.-техн. центр дистанционной диагностики природной среды Акад. наук Беларуси и Гос. Ком. Беларуси по экологии, Ин-т физики Акад. наук Беларуси, БелНИИ почвоведения и агрохимии : № 8).
5. Медведев, А. Г. Оптимизация мелиорированных торфяных почв в целях повышения их плодородия и охраны от сработки / А. Г. Медведев [и др.] // Проблемы Полесья. – Минск, 1981. – Вып. 7. – С. 79–86.
6. Окрушки, Г. Сельскохозяйственная ценность почв болотного происхождения в связи с минерализацией осушенных торфянников / Г. Окрушки, С. Ливски // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. – Минск, 1969. – С. 105–114.
7. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М., 1981.
8. Пономарева, В. В. Методы изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах / В. В. Пономарева, Т. А. Николаева // Почвоведение. – 1961. – № 5. – С. 88–95.
9. Пространственная неоднородность почвенного покрова, формирующегося при деградации мелиорированных торфяных почв Полесья / А. А. Яновский [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 76–82.
10. Разработать прогноз изменения структуры почвенного покрова (СПП) и плодородия мелиорированных почв : отчет о НИР (заключ.) / ИПИПРЭ Акад. наук Беларуси ; науч. рук. д-р с.-х. наук Н. Н. Бамбалов. – Минск, 1995.
11. Тюрин, И. В. Новое видоизменение объемного метода определения гумуса с помощью хромовой кислоты / И. В. Тюрин // Почвоведение. – 1931. – № 6. – С. 36–47.
12. Формирование спектральных дешифровочных признаков торфяных почв Полесья / В. А. Зайцева [и др.] // Мониторинг природной среды дистанционными и геодезическими методами / под ред. А. А. Ковалева, В. Н. Губина. – Минск, 1996. – С. 89–96.
13. Яновский, А. А. Методические предпосылки дистанционного картографирования деградированных торфяных почв Беларуси / А. А. Яновский // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 192–198.
14. ASTER User's Guide Part I. General. (Ver.4.0). Earth Remote Sensing Data Analysis Center. – July, 2005. – 103 p.
15. Kerr, Y. H. Soil moisture from space: Where are we? / Y. H. Kerr // Hydrogeology Journal. – 2007. – № 15. – Р. 117–120.
16. VISAT Version 5.0 [Electronic resource] / Brockmann Consult and contributes. – 2014. Mode of access : <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>. Date of access : 10.07.2014.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 25.07.2014 г.

**А. А. Яновский, Н. Н. Бамбалов**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ  
ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ СРЕДНЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

---

Большие площади осушенных торфяных почв Беларуси и мозаичность расположения участков торфяных и деградированных торфяных почв препятствуют проведению их картографирования путем интерактивной обработки данных ДЗ, приводя к необходимости автоматизации картографирования. В работе показаны возможности тематического картографирования поверхности используемых в сельском хозяйстве мелиорированных торфяных почв (осушенных для сельского хозяйства торфяников и переданных ему торфяных месторождений после их разработки) по спутниковым снимкам в видимом и ближнем ИК (начальная область ближнего ИК) диапазонах с пространственным разрешением 10–15 м без непосредственного участия человека, при автоматизации всего процесса обработки спутниковых снимков, начиная от минимального уровня их обработки до конечных карт, и применимостью методики к различным сельскохозяйственным полям Беларуси без использования наземных данных.

По указанным данным ДЗ в автоматическом режиме возможно разделить поверхность мелиорированных торфяных почв Беларуси на торфяные и торфяно-минеральные (один класс при картографировании), органо-минеральные и постторфяные почвы при условии, что на них отсутствуют растительность и посевные остатки.

**A. A. Yanovskiy, N. N. Bambalov**

**THE AUTOMATION OF MAPPING OF THE DEGRADED PEAT SOILS OF BELARUS  
ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGES OF MEDIUM SPATIAL RESOLUTION**

---

Large areas of drained peat soils of Belarus and mosaic arrangement of peat and degraded peat soils patches impedes their mapping by interactive processing of remote sensing data, leading to the necessity to automate mapping. The paper discusses the possibility of thematic mapping of the surface of reclaimed peat soils used in agriculture (peatlands drained for agriculture and cut-off peatlands transferred to it after peat extraction) on the basis of satellite images in the visible and near-IR (the beginning of near-IR region) spectral regions with a spatial resolution 10–15 m without direct human intervention, when you automate the entire processing of satellite images from the minimum level of processing to the final maps and the applicability of the methodology to different agricultural fields of Belarus without using ground data.

On the basis of the above mentioned remote sensing data in automatic regime it is possible to divide the surface of drained peat soils into peat and peat-mineral (one class when mapping), organo-mineral and postpeat soils, provided that they have no vegetation cover and tillage.

УДК 662.331:878

**Т. И. Макаренко, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич, Т. Я. Кашинская,  
С. Т. Мультан, Л. П. Калилец**

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Охарактеризован торфяной фонд Могилевской области: запасы, качественные характеристики торфяных месторождений (преобладающий тип торфяной залежи, степень разложения, зольность, глубина), предложены современные направления использования запасов торфа.*

Экономическая безопасность и стабильность развития государства в значительной мере зависят от полноты реализации потенциальной ценности местных природных ресурсов. Как известно, Республика Беларусь располагает значительными запасами торфа. В соответствии с этим необходим научный подход к выбору направлений использования торфяных месторождений и торфа в народном хозяйстве. Рациональное освоение торфяных месторождений возможно лишь при оптимальном сочетании трех основных направлений их потребления: как полезного ископаемого, потенциально плодородных сельскохозяйственных земель и как природных объектов для поддержания экологического равновесия окружающей среды.

Благоприятный климат, избыточное увлажнение, изобилие пониженных форм рельефа создали в Беларуси условия для зарождения и развития торфяных месторождений. Однако такие условия существенным образом отличались в разных регионах республики, что обусловило многообразие образовавшихся типов и видов торфа. С точки зрения условий торфообразования (геоморфология, почвенный покров, грунтовые воды) территорию республики нельзя рассматривать как единое целое. Геоморфологические особенности местности определяют собой форму и размер развивающихся торфяных месторождений и их водосборную площадь. Рельеф поверхности Республики Беларусь характеризуется наличием целого ряда гряд, возвышенностей и низменностей, обуславливающих вместе с покровными породами и характером минерального питания особенности торфообразовательных процессов [3]. Отличия в геоморфологических условиях районов, залегании и питании торфяных массивов привели к тому, что в различных областях республики образовались торфяные месторождения, отличающиеся как по строению залежи, размерам и форме торфяных массивов, так и по качественным особенностям торфяного сырья.

В геоморфологическом отношении территории Могилевской области преимущественно равнинная с платоподобным, плосковолнистым водно-ледниковым и донно-моренным рельефом, который сформировался под влиянием днепровского и сожского оледенений. На севере области находятся отгорья Оршанской возвышенности,

восток и северо-восток заняты Оршанско-Могилевской и Горецко-Мстиславской равнинами, сложенными преимущественно лессоподобными суглинками. Выровненным и слаборасчлененным рельефом отличаются Центральноберезинская равнина на западе и Чечерская равнина, размещенная между Центральноберезинской и Оршанско-Могилевской равнинами.

По условиям формирования поверхности и водно-минерального режима питания растений территорию области условно можно разделить на две части – западную, включающую левобережную часть Приднепровской равнины, и восточную [3].

Западная часть области расположена в подзоне подтаежных смешанных ландшафтов в Предполесской провинции вторичных водно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов. Большую роль в формировании геоморфологических особенностей этого региона сыграли крупные реки (Березина, Друть, Днепр), широкие долины которых прорезают территорию с северо-запада на юго-восток и с севера на юг, занимая своими бассейнами около 90 % ее площади. Отсутствие больших всхолмлений, слаженность рельефа местности, слабый уклон гидрографической сети обусловили высокое стояние грунтовых вод и широкую заторфованность больших плоских междуречных пространств. Западные районы Могилевской области относятся к области крупных верховых и низинных торфяных месторождений полого-волнистой абляционной равнины. Торфяные месторождения сравнительно часто занимают большие площади; иногда они представлены в виде системы глубокозалежных торфяных массивов. Здесь широко распространены как низинный, так и верховой типы торфа. Благодаря отсутствию намывного питания на больших плоских междуречных территориях торфяные месторождения в начале своего развития получали преобладающее грунтовое водно-минеральное питание, которое впоследствии уменьшилось, уступая место атмосферному. В связи с этим произошла замена низинных торфов верховыми. В области также имеется немало торфяных массивов, которые получали богатое водно-минеральное питание на протяжении всего своего развития. Такие массивы и в настоящее время сохранили остатки растительности низинного типа.

Заторфованность западной части Могилевской области довольно значительная (порядка 15,6 %), верховые залежи составляют 27,5 %, низинные – 67,9 %, остальные 4,6 % приходятся на переходные и смешанные залежи. Торфяные массивы часто представлены в виде сложной системы, сформированной из отдельных в прошлом месторождений, в последующем разросшихся и объединившихся. В качестве примера можно привести следующие крупные месторождения данного региона (по материалам кадастрового справочника 1979 г. [1]): в Белыничском районе – «Заозерье» (площадь 3626 га, геологические запасы торфа 7833 тыс. т, верховая залежь), «Острова Дулебы» (площадь 4950 га, запасы 14 848 тыс. т, верховая залежь 80 %), «Неропля» (площадь 2732 га, запасы 11388 тыс. т, низинная залежь); в Бобруйском – «Редкий Рог» (площадь 3705 га, запасы 15672 тыс. т, низинная залежь); в Быховском – «Годылево, Ухлясть» (площадь 8254 га, запасы 34 272 тыс. т, низинная залежь), «Зимник» (площадь 3636 га, запасы 18468 тыс. т, низинная залежь 85 %); в Глусском – «Болото бассейна р. Доколька» (площадь 3218 га, запасы 8227 тыс. т, низинная залежь); в Кличевском – «Гончанско» (площадь 3599 га, запасы 9580 тыс. т, низинная залежь 55 %, верховая 35 %); в Осиповичском – «Корытнянщина» (площадь 2648 га, запасы 6404 тыс. т, низинная залежь 45 %, верховая 40 %), «Ясень» (площадь 5023 га, запасы 13 438 тыс. т, низинная залежь 20 %, верховая 70 %).

Восточная часть Могилевской области характеризуется преобладанием в покрове лесосовидных суглинков. Поверхность волнистая, расчлененная сетью небольших долин и оврагов с многочисленными блюдцевидными и вытянутыми впадинами. Уровень стояния грунтовых вод низкий, уклон поверхности значительный в южном и юго-западном направлениях. Суглинистый почвенный покров, расчлененность поверхности, существенный уклон и низкий уровень стояния грунтовых вод в этом регионе способствовали быстрому стоку с поверхности территории атмосферных осадков и выходов грунтовых вод, что создало неблагоприятные условия для болотообразования и препятствовало торфообразовательному процессу. Заторфованность этого региона низкая (менее 5 %), доля верховых торфяных месторождений составляет 19,9 %, низинных – 74,7 %. Кроме того, геоморфологические условия восточной части области оказали свое влияние на развитие торфяных образований, которые представлены преимущественно пойменными (пойменными, пойменно-притеррасными, обвалованных пойм и др.) торфяными месторождениями, а также торфяными месторождениями, залегающими на склонах надпойменных террас, в староречьях, реже в сточных котловинах. Здесь образовалось значительное количество небольших по площади мелкозалежных торфяных месторождений, большинство из которых находится на евтрофной стадии развития.

Запасы торфа Могилевской области на месторождениях площадью 10 га и более по состоянию на 01.01.1978 г. оценивались в 383 104 тыс. т

[1], по состоянию на 01.01.1988 г. – в 355 717 тыс. т [7] и на 01.01.2010 – в 284 500 тыс. т (Отчет закл. «Разработать технологический регламент выбора и определить перечень перспективных для комплексного использования торфяных месторождений Республики Беларусь при их освоении до 2020 года» / Ин-т природопользования НАН Беларуси; рук. А. П. Гаврильчик. Минск, 2010. № ГР 20092729).

Распределение торфяных месторождений по количественным и качественным показателям представлено на рис. 1 (по состоянию на 01.01.1978 г.). Основное количество торфяных месторождений (763 ед.) имело площадь в нулевых границах в пределах 10–50 га, что составляло 54,8 % от их общего количества. Месторождений с интервалом площадей 101–500 га имелось 21,3 %, а вот крупных месторождений площадью более 1000 га – только 2,2 % (рис. 1, а).

На момент разведки наибольшее количество торфяных месторождений располагали запасами торфа до 100 тыс. т (76,8 %). Запасы торфа более 10 млн т имели шесть месторождений («Годылево-Ухлясть», «Зимник», «Острова Дулебы», «Неропля», «Редкий Рог» и «Ясень»), что составляло 0,5 % от общего количества месторождений (рис. 1, б).

Распределение торфяных залежей по средней глубине представлено на рис. 1, в. Максимальное количество торфяных месторождений (60,2 %) имели глубину 1–2 м, достаточно много залежей с глубиной торфа до 1 м – 29,5 %. Месторождений с глубиной залежи 3–4 м имелось только 1,5 %, а с глубиной 4–5 м – лишь два объекта: «Мокровицко-Мощаницкое» (Белыничский район) и «Лотаковское» (Краснопольский район).

На рис. 1, г показано распределение торфяных месторождений по средней степени разложения. Область располагала незначительным количеством торфяных месторождений с низкой степенью разложения (до 15 %) – их 0,4 %. Высокая степень разложения (36–40 %) была присуща 532 месторождениям, что в целом характеризовало торфяной фонд области как фонд с достаточно высокой степенью разложения (38,2 %).

Распределение торфяных месторождений по средней зольности (рис. 1, д), характеризовалось следующим образом. Максимальное количество месторождений приходилось на интервал зольности 13–20 % (26,7 %). В области также имелось некоторое количество низкозольных торфяных месторождений с зольностью до 3–3,7 %, что является положительным с позиций выбора месторождений для комплексного использования. В то же время много и высокозольных месторождений (с зольностью более 25–18,0 %), что ограничивало их применение в народном хозяйстве.

Верховой торф низкой степени разложения имелся в восьми районах из 21; выделяется значительными запасами Белыничский район (около 8 млн т). Суммарный запас верхового торфа степенью разложения более 30 % составлял 42,3 млн т. Запасы низинного торфа низкой степени разложения были незначительны и имелись в трех районах из 21, а высокой степени разложения (более 35 %) были во всех районах с суммарным объемом 155,9 млн т [8].

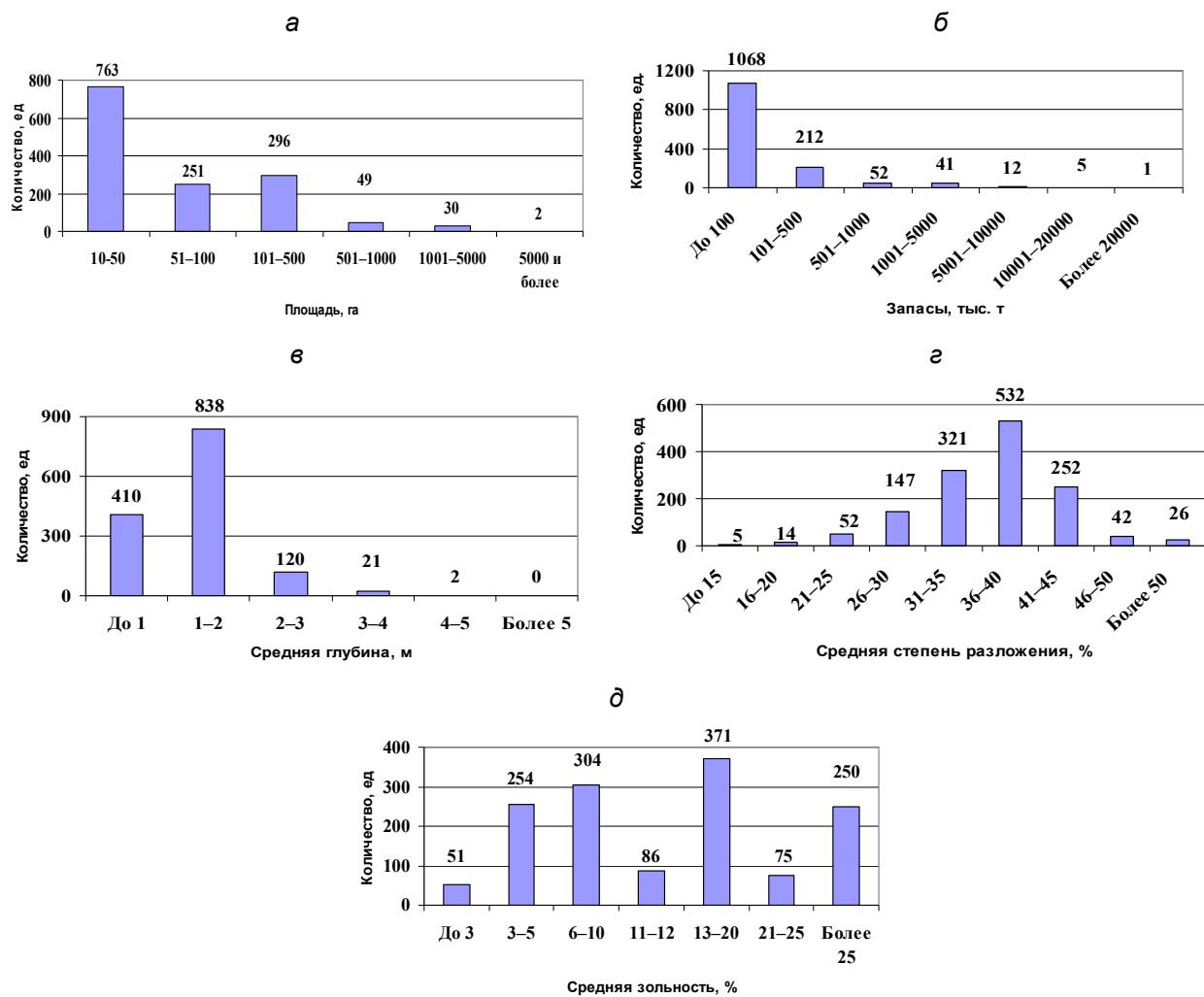


Рис. 1. Гистограммы распределения торфяного фонда Могилевской области по площади (а), запасам (б), глубине (в), степени разложения (г) и зольности торфа (д)

В табл. 1 приведено распределение торфяного фонда Могилевской области по типам залежи [1].

Таблица 1. Распределение торфяного фонда Могилевской области по типам залежи

Район	Запасы, %			
	Торфяная залежь			
	низинная	верховая	переходная	смешанная
Белыничский	34,0	61,1	1,3	3,6
Бобруйский	90,8	8,9	0,3	0
Быховский	89,2	8,4	0,7	1,7
Глусский	75,4	14,2	8,7	1,7
Горецкий	87,3	9,7	3,0	0
Кировский	63,3	34,5	2,0	0,2
Климовичский	68,9	24,1	5,4	1,6
Кличевский	60,8	36,0	3,1	0,1
Костюковичский	56,2	30,7	3,1	10,0
Краснопольский	62,7	34,9	2,4	0
Кричевский	68,1	26,9	5,0	0
Круглянский	38,9	57,3	0,9	2,9
Могилевский	76,8	21,7	1,5	0
Мстиславский	97,2	0,8	2,0	0
Осиповичский	62,0	29,5	7,5	1,0
Славгородский	80,3	14,1	5,6	0
Хотимский	64,6	28,0	7,4	0
Чаусский	71,6	23,4	4,4	0,6
Чериковский	89,7	7,1	2,9	0,3
Шкловский	88,5	3,5	7,1	0,9
<b>Итого</b>	<b>67,9</b>	<b>27,2</b>	<b>3,5</b>	<b>1,4</b>

Выполненное при разработке «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года» [7] распределение по целевым фондам в общем плане закрепило направления использования торфяных месторождений на последующий период. Отличительной особенностью области являлась высокая доля неиспользуемого фонда, что позволяло иметь большие резервы при выборе перспективных объектов для комплексного освоения. Однако следует учитывать, что запасы торфа неиспользуемого фонда расположены в основном на мелкозалежных торфяных месторождениях. Значительная часть месторождений, вошедших в этот фонд, загрязнена радионуклидами, и извлекаемые запасы из-за этого будут незначительными.

Современное состояние и использование торфяных ресурсов области характеризуется следующим образом. За период с 01.01.1978 по 01.01.2010 г. в результате ветровой эрозии и минерализации торфа при сельскохозяйственном использовании 46 мелкозалежных торфяных массивов площадью более 10 га деградировали и исключены из перечня торфяных месторождений [5, 7]. В настоящее время в Могилевской области числится 1345 месторождений площадью более 10 га. Осушено (включая выработанную площадь) 111 881 га, в естественном состоянии находятся торфяные месторождения площадью 90 366 га, что составляет 44,7 % фонда.

Значительные территории торфяных месторождений области загрязнены цезием 137 и в настоящее время исключены из хозяйственной деятельности. В табл. 2 представлены данные, характеризующие уровень загрязнения радионуклидами торфяных месторождений административных районов Могилевской области. Подверглись воздействию радиоактивного загрязнения 18 % торфяных запасов области и 16 % площади торфяных месторождений. Согласно работе [6], торфяные месторождения с уровнем загрязнения до 1 Кү/км<sup>2</sup> пригодны для добычи торфа, с загрязнением от 1 до 15 Кү/км<sup>2</sup> могут разрабатываться после предварительного снятия 10-санитметрового поверхностного слоя, торфяные месторождения с уровнем загрязнения более 15 Кү/км<sup>2</sup> не пригодны для разработки.

В настоящее время в области работают три торфодобывающих организации: ОАО «ТП Днепровское» ГПО «Белтогаз» (сыревые базы: торфяное месторождение (т/м) «Зимник» кадастровый номер (к. н.) 749, т/м «Годылево» к. н. 744 и т/м «Ухово» к. н. 614), РУП «Могилевгаз» (сыревая база т/м «Гончанско» к. н. 1240) и РУП «Могилевэнерго» (сыревые базы: т/м «Ясень» к. н. 1488 и т/м «Корытнянщина» к. н. 484). В 2012 г. общая добыча торфа составила 159 тыс. т.

Новые задачи в освоении торфяного фонда, отраженные в ряде нормативно-распорядительных документов [2, 4], определили приоритетные направления в области использования торфяных ресурсов республики. Поставлена за-

дача увеличить объемы добычи торфа как местного вида топлива и создать производства глубокой термохимической и биохимической переработки торфяного сырья с получением широкой номенклатуры продуктов для промышленного, сельскохозяйственного, бытового и медицинского использования.

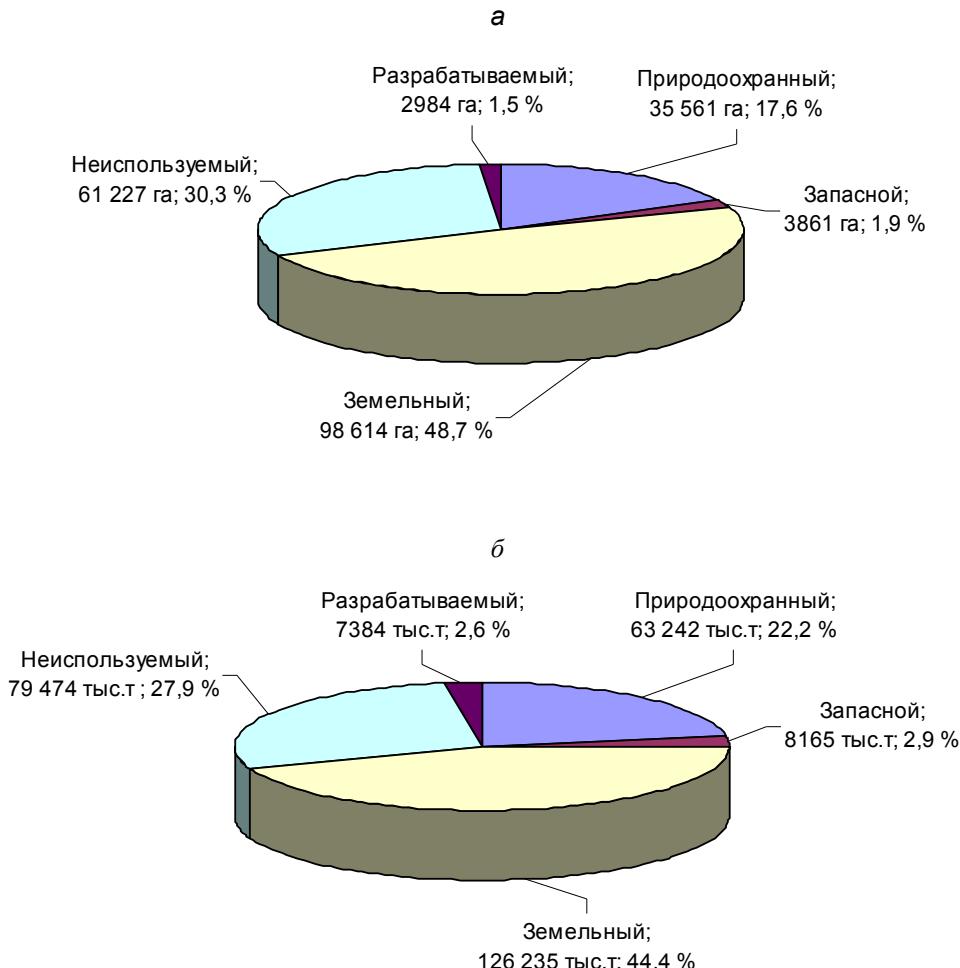
Выполнение поставленных задач требует прежде всего оценки оставшегося торфяного фонда как с позиций его запасов, так и с позиций избирательности его по качественным характеристикам и связано с перераспределением имеющихся ресурсов по целевым фондам. При этом в первую очередь необходимо увеличить состав разрабатываемого фонда с целью выбора сырьевых баз по организации добычи торфа как для традиционных, так и новых направлений его использования, тем более что предыдущая «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР (Могилевская область)» была создана более 20 лет назад. Основной задачей перераспределения торфяных ресурсов является выбор наиболее рационального и эффективного направления их использования. Это означает определение для каждого из распределяемых объектов такого направления его освоения, которое обеспечит наиболее полное использование заложенных в нем природой потенциальных возможностей. В связи с этим по каждому объекту торфяного фонда производится поэтапный анализ основных показателей (запасы торфа, площадь, глубина и тип залежи, степень разложения и зольность торфа), дополнительно устанавливается геоморфологический статус и возможная стратиграфия торфяного месторождения, положение объекта в инфраструктуре административного района, оценивается потребность района в продукции на основе торфа. Из перечня исключаются мелкоконтурные (площадью менее 10 га), мелкозалежные (глубиной менее 1,3 м) и зазоленные (зольностью более 25 %) торфяные месторождения, которые не представляют интереса для промышленной разработки.

На основе анализа торфяных месторождений Могилевской области предложено перераспределение торфяных фондов на период до 2030 г. (рис. 2).

С учетом важной роли торфяных месторождений в природе, создании благоприятных процессов на больших территориях (гидрологических, средоочистительных, климаторегулирующих, сохраняющих флору и фауну и т. д.) значительные площади (17,6 %) этих образований включены в природоохраненный фонд с запасами торфа 22,2 % от всего торфяного фонда области. Предложения по составу указанного фонда разработаны сотрудниками ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам» (Отчет «Разработка проекта природоохранного фонда «Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 г.» / Научно-практический центр по биоресурсам НАН Беларуси ; рук. М. Е. Никифоров. Минск, 2014).

Таблица 2. Распределение торфяных месторождений Могилевской области по зонам радионуклидного загрязнения

Районы	Радиоактивность, Кн/км <sup>2</sup>									Всего в зоне загрязнения (> 5 Кн/км <sup>2</sup> )		
	5–15			15–40			> 40					
	Площадь в нулевы- х гра- ницах, га	Запа- сы тор- фа, тыс. т	Кол-во месторож- дений, шт.	Площадь в нулевы- х гра- ницах, га	Запа- сы тор- фа, тыс. т	Кол-во месторож- дений, шт.	Площадь в нулевы- х гра- ницах, га	Запа- сы тор- фа, тыс. т	Кол-во месторож- дений, шт.	Площадь в нулевы- х гра- ницах, га	Запа- сы тор- фа, тыс. т	Кол-во месторож- дений, шт.
Белыничский	12	2	1	—	—	—	—	—	—	12	2	1
Бобруйский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Быховский	12 600	19 869	27	—	—	—	100	55	1	12 700	19 924	28
Глусский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Горецкий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Кировский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Климовичский	134	159	2	226	108	4	—	—	—	360	267	6
Кличевский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Костюковичский	525	442	7	1321	1835	10	121	111	4	1967	2388	21
Краснопольский	974	311	25	1594	532	28	268	64	9	2836	907	62
Кричевский	161	297	4	110	102	2	—	—	—	271	399	6
Круглянский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Могилевский	2795	1783	6	—	—	—	—	—	—	2795	1783	6
Мстиславский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Осиповичский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Славгородский	3063	2410	52	5468	7324	16	646	1438	5	9177	11 172	73
Хотимский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Чаусский	788	11 553	21	—	—	—	—	—	—	788	11 153	21
Чериковский	1088	1412	14	1084	903	16	213	194	4	2385	2509	34
Шкловский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дрибинский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Итого</b>	<b>22 140</b>	<b>38 238</b>	<b>159</b>	<b>9803</b>	<b>10 804</b>	<b>76</b>	<b>1348</b>	<b>1862</b>	<b>23</b>	<b>33 291</b>	<b>50 904</b>	<b>258</b>



**Рис. 2. Предлагаемое распределение торфяных ресурсов Могилевской области по площади (а) и запасам (б)**

В связи с высокой долей торфяных месторождений, загрязненных радионуклидами, и истощением запасов торфа вследствие его добычи в области не представляется возможным значительно увеличить разрабатываемый фонд, причем по ряду районов области данный фонд отсутствует. Это относится к Горецкому, Краснопольскому, Кричевскому, Хотимскому, Чаусскому и Дрибинскому районам. Тем не менее для трех торфодобывающих организаций области определены сырьевые базы на сравнительно крупных торфяных массивах в Быховском, Славгородском, Кличевском и Осиповичском районах с общими запасами 7384 тыс. т. Следует отметить, что торфяные месторождения «Зимник», «Годлево», «Ухово» загрязнены цезием 137 до 15 Ки/км<sup>2</sup>. Однако после специальной подготовки (снятие и утилизация верхнего 10-сантиметрового слоя залежи) они пригодны для добычи и переработки торфа [6].

Запасной фонд представлен торфяными месторождениями (участками) для добычи торфа в качестве грязелечебного и битуминозного сырья, а

также верхового торфа низкой степени разложения (не более 15 %). Перечень месторождений указанного фонда составлен по материалам ранее проведенных геологических разведок. Часть месторождений с битуминозным сырьем зарезервирована в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 12.11.2007 г.

Неиспользуемый фонд области, представленный в основном мелкозалежными, зазоленными и загрязненными радионуклидами торфяными месторождениями, – один из самых значительных неиспользуемых фондов в Республике Беларусь и составляет 30,3 % от всей площади торфяных месторождений области.

В земельный фонд включены месторождения низинного и переходного типов, не вошедшие в разрабатываемый, природоохраный и запасной фонды и используемые в качестве сельскохозяйственных и лесных угодий, а также под водоемы. На величину земельного фонда в Могилевской области существенное влияние оказала авария на Чернобыльской АЭС. Более 11 тыс. га территории торфяных

месторождений области загрязнены цезием-137 с уровнем радиоактивности 15 Ки/км<sup>2</sup> и выше. Часть таких месторождений находилась ранее в земельном фонде, а в настоящее время они исключены из хозяйственной деятельности. Земельный фонд по площади составляет менее половины площади всех месторождений области (48,7 %).

Таким образом, на основании системного анализа торфяного фонда Могилевской области, включающего оценку качественных и количественных характеристик торфяных месторожде-

ний с учетом их места и роли в общей природно-территориальной системе, а также новых задач в освоении этих ресурсов, предложен новый состав торфяных фондов области. Для промышленного использования торфяных ресурсов подобраны варианты по увеличению площадей сырьевых баз для добычи торфа действующими предприятиями. При формировании состава разрабатываемого фонда учтены также потенциальные потребности возможных производств по глубокой комплексной переработке торфа с получением нетрадиционной продукции.

## Литература

1. Кадастровый справочник. Торфяной фонд Белорусской ССР. – Минск, 1979.
2. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь, утвержденная Указом Президента от 17 сентября 2007 г. № 433.
3. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко. – Минск, 1961.
4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 декабря 2006 г. № 1726 «Об утверждении плана мероприятий по использованию в республике местных топливно-энергетических ресурсов».
5. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / Комитет по земельным ресурсам, геологии и картографии. – Минск, 2011.
6. Распределение торфяных ресурсов Гомельской области по направлениям использования с учетом новых задач их освоения / А. П. Гаврильчик [и др.] // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 206–214.
7. Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР (Брестская, Витебская, Гомельская, Гродненская, Минская, Могилевская области) : справ. – Минск, 1990.
8. Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу. – Минск, 2013.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 26.08.2014 г.

**Т. И. Макаренко, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич,  
Т. Я. Кашинская, С. Т. Мультан, Л. П. Калилец**

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Приведено описание геоморфологии торфяных месторождений Могилевской области. Охарактеризованы особенности торфообразовательных процессов западной и восточной частей Могилевской области. Западные районы относятся к области крупных верховых и низинных месторождений. Заторфованность этой территории области 15,6 %. Восточная часть характеризуется неблагоприятными условиями для торфообразовательного процесса, заторфованность региона низкая (менее 5%), здесь образовались в основном небольшие по площади мелкозалежные месторождения. Приведены данные о количественном и качественном составе торфяного фонда Могилевской области, а также о динамике его изменений с 1978 г. по настоящее время. Разработаны предложения по перераспределению запасов торфа по направлениям использования.

*T. I. Makarenko, L. S. Lis, V. B. Kuntsevich,  
T. J. Kashinskaya, S. T. Multan, L. P. Kalilets*

**THE DISTRIBUTION OF PEAT RESOURCES  
OF MOGILEV REGION AND DIRECTIONS OF THEIR USE**

*The description of the geomorphology of peat deposits in Mogilev region is given. The features of peat-formed processes of western and eastern parts of Mogilev region are characterized. Western regions are in the area of large high bogs and mires. The share of peat bogs territory is 15,6 %. The eastern part is characterized by unfavorable conditions for peat formation, the share of peat bogs is low (less than 5 %), there have been formed mostly small fields in its size. The data on the quality and quantity of peat in Mogilev region as well as the dynamics of its changes from 1978 to the present has been given. The proposals for the redistribution of peat reserves in the directions of use have been developed.*

**А. В. Krakovetskiy**

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

*Проведена эколого-экономическая оценка направлений использования торфяных ресурсов Беларуси: промышленного (получение топливной и комплексной продукции), сельскохозяйственного и природоохранного.*

Природные ресурсы являются основополагающим фактором производственной деятельности человека, позволяющим обоснованно вносить вклад в экономическое и социальное развитие. Они не только являются исходным сырьем для экономической деятельности человека, но и осуществляют ассимиляцию отходов и различного рода загрязнений. Кроме того, они выполняют важнейшие функции поддержания жизни (стабильность глобального климата, сохранение озновного слоя, очищение атмосферного воздуха) и обеспечивают экологическими услугами (рекреация, познавательная деятельность и др.).

В экономической реальности действует закон, согласно которому не существует и не учитывается при принятии хозяйственных решений то, что не имеет цены. В повседневной практике, как правило, имеет место заниженная плата за пользование природными ресурсами или даже ее нулевая оценка. Это приводит, в частности, к неучету экологического фактора при изъятии природных ресурсов из природной среды и неотражению экологических издержек в затратах на конечную продукцию. Экологическая неполнота современной экономики является очевидным фактом и представляет собой одной из причин нерационального использования природных ресурсов.

Таким образом, экономическая оценка природных объектов, в особенности торфяных месторождений, весьма актуальна, так как представляет собой одно из направлений оценочной деятельности природных ресурсов и включает в себя оценку промышленной и иной ценности природных объектов. Такая оценка необходима также для определения экономической ценности наиболее эффективных и безопасных способов освоения и использования ценных торфяных ресурсов, для государственного регулирования отношений природопользования и обеспечения рационального использования природного потенциала страны.

Проблема экономической оценки природных ресурсов (в том числе торфяных месторождений) разрабатывалась рядом ученых на протяжении всего XX в. и прошла сложный путь от оценки в натуральных величинах до стоимостной. Развитие наиболее нас интересующей стоимостной оценки природных ресурсов началось в 30-е годы XX в. с работ западных экономистов:

Траскотта, Гувера, Батмана и др. В бывшем СССР проблемой стоимостной оценки природных ресурсов занимались такие ученые как В. А. Обручев, А. В. Скочинский, М. А. Агошков, С. Г. Струмилин. В Беларуси подобные исследования проводят И. В. Войтов, А. В. Томашевич, О. С. Шимова, А. В. Унукович и др. [5]. Наиболее перспективными, по мнению автора, направлениями эколого-экономической оценки торфяных ресурсов на данном этапе являются доходный метод [6, 8] для определения эффективности промышленного и сельскохозяйственного использования природных ресурсов; метод моделирования «суррогатных рынков» и концепции общей экономической ценности природных благ или объектов для определения экономической ценности ресурсов природоохранного назначения [7].

Вопросы стоимостной оценки разных направлений использования торфяных ресурсов в нашей стране уже освещались отечественными авторами в следующих публикациях: А. В. Унукович, Л. С. Лис, Я. И. Аношко «Оценка экономической эффективности использования ресурсов торфяных месторождений», А. В. Унукович, Я. И. Аношко «Торфяно-болотные угодья природоохранного назначения и их экономическая ценность» и в монографии «Геолого-экономическая оценка месторождений полезных Беларуси». В указанных работах все экономические показатели и исходные данные представлены на 2010 г. С того времени прошло уже почти 5 лет, а это значительный срок для экономической науки, изменилась стоимость денег, был введен другой налог на прибыль, изменились и иные исходные показатели. По этой причине автор считает целесообразным провести стоимостную оценку перспективных направлений использования торфяных ресурсов заново.

Действующая «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Беларуси на период до 2010 г.» сочетает в оптимальных количественных и качественных пропорциях основные направления использования торфа:

как источника полезного ископаемого в качестве сырьевой базы для получения различных продуктов;

как потенциально плодородных земельных угодий для производства сельскохозяйственной продукции;

как природных объектов, сохранение которых в определенных условиях необходимо для поддержания сбалансированного состояния окружающей природной среды. В этом значении торфяные ресурсы рассматриваются как определенный комплексный вид природных ресурсов, требующий геологического, технологического, экологического и экономического изучения.

#### **Комплексное использование торфа.**

Для обеспечения производства торфяной продукции в Беларуси ежегодно добывается около 2,5 млн т торфа. В перспективе ожидается увеличение добычи торфа до 4,3 млн т к 2020 г.

Предприятия торфяной промышленности разрабатывают около 50 месторождений торфа с эксплуатационными запасами около 120,5 млн т при условной 40 %-ной влажности, из которых 82,0 млн т пригодны для производства торфяного топлива, а остальные – для использования в сельском хозяйстве. При этом на отведенных 11,2 тыс. га площадях торфяных месторождений залегает около 30 млн т торфа, в том числе около 18 млн т торфа для производства топливных брикетов и 10 млн т для сельскохозяйственного использования. Запасы на оставшейся неотведенной части сырьевых баз (18,1 тыс. га), предназначенные для производства брикетов, составляют около 55 млн т [1].

Следовательно, имеющиеся сырьевые ресурсы торфа обеспечивают предусмотренные объемы его добычи и производства торфяной продукции вплоть до 2021 года. Остаточные разведанные запасы торфа, предназначенные в качестве сырьевых баз для предприятий топливной промышленности, составляют порядка 78,7 млн т. При годовой потребности около 2,5 млн т обеспеченность запасами торфа составляет более 30 лет.

Под оценкой экономической эффективности комплексного использования торфяных ресурсов понимается определение их экономической значимости для решения задач государственного регулирования отношений, связанных с обеспечением рационального использования запасов торфа в составе сырьевого потенциала страны в целом. Следовательно, для такой оценки в качестве основных исходных данных приняты промышленные запасы торфяных ресурсов, годовая производительность торфодобывающего предприятия, общие капитальные вложения (инвестиции) в строительство добывающего и перерабатывающего предприятия, объемы производства конечной продукции на основе торфа, годовые производственные затраты, отпускная цена единицы товарного продукта.

При определении общих капитальных вложений и эксплуатационных затрат по видам использования торфа использовались данные, приведенные в технико-экономическом обосновании

строительства опытно-промышленного предприятия по комплексной безотходной переработке торфа на базе торфяных месторождений «Славное» Витебской области, «Туршевка–Чертово» Минской области, «Ваньковщина», «Есмоновский МОХ» и «Острова Дулебы» Могилевской области [4], сведения, опубликованные в различных сборниках и каталогах, а также расценки белорусских строительных и других предприятий. Расчет стоимости зданий, сооружений, горно-капитальных работ, подъездных путей, коммуникаций, объектов энергосбережения и других сооружений произведен исходя из их стоимости в ценах 1991 г. и индексов изменения стоимости инвестиций в основной капитал в 2014 г. к базисным ценам 1991 г.

Строительно-монтажные работы включают все работы, связанные с подготовкой площади под строительство первоочередного участка и монтаж зданий и сооружений. Стоимость этих работ определена на основании укрупненных расчетов и составляет 46 178,7 тыс. долл. США. Стоимость машин, механизмов и оборудования определена на основании перечня технических средств, необходимых для обеспечения добычи торфа в объемах, предусмотренных техническим проектом, и составляет 9 923,8 тыс. долл. США. Прочие инвестиционные издержки, включающие расходы на содержание дирекции строящегося предприятия, обеспечение технического надзора, подготовку кадров и др., определены в размере 591,1 тыс. долл. США. Капитальные вложения распределены по видам конечной продукции.

Расчет производственных затрат на добычу торфа и производство конкретных видов продукции из торфа осуществлен в среднем на год. Заработная плата рассчитана согласно действующему законодательству. Отчисления в Фонд социальной защиты населения приняты в размере 35 % от заработной платы. Амортизация и отчисления на возмещение расходов, связанных с платежами на землю, проведением строительно-монтажных работ, использованием машин, механизмов и оборудования, проведением природоохранных мероприятий и других инвестиционных расходов, определены в размере 10 %, что связано с 10-летним сроком функционирования капитальныхложений. Суммы налогов, поступающих в бюджет, определены на основании ставок и налогооблагаемой базы, установленных законодательством.

Стоимость произведенной продукции рассчитана исходя из объемов продукции в натуральном выражении и цен, сложившихся на рынке указанной продукции.

Порядок расчета показателей стоимостной оценки месторождения включает также определение годовой стоимости товарной продукции (*NSR*), облагаемой налогом прибыли, налога на

прибыль, чистого потока реальных денег (чистой прибыли) ( $NCF$ ), чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег, индекса рентабельности инвестиций, внутренней нормы рентабельности и срока окупаемости капиталовложений. Все расчеты показателей стоимостной оценки месторождения, как в случае комплексного использования, так и при сельскохозяйственном, и природоохранном использовании, которые приведены ниже, выполнены в соответствии с ТКП 17.04-08-2008 [2]. В случае использования особых формул об этом указывается отдельно. Например, в выполненной оценке комплексного использования предусмотрены разовые инвестиции, поэтому для расчета накопленного чистого дисконтированного дохода  $NPV$  при 10 %-ной ставке дисконта использована формула

$$NPV = \sum_{t=1}^T NCF_t (1 + r)^{-t} - I_0,$$

где  $I_0$  – первоначальные инвестиции в освоение месторождения, которые осуществляются единовременно на момент начала освоения.

Индекс рентабельности инвестиций рассчитан по формуле

$$PI_0 = \frac{NPV}{I_0}.$$

В табл. 1 показаны чистые потоки реальных денег, которые могут быть получены в течение 10 лет освоения месторождения, а также указана нынешняя стоимость ( $PV$ ) этих потоков при предельной ставке освоения, равной 10 %, т. е. дисконтированные потоки реальных денег ( $NPV$ ) при  $r = 10\%$ .

Определение экономической эффективности комплексного использования промышленных запасов торфа на месторождениях Беларуси осуществлено на основе расчетных данных и данных при условии, что торфяные месторождения будут использоваться в качестве сырья в естественном виде (фрезерный торф 40 %-ной влажности), а также для производства продукции из торфа – кормовых добавок, торфяного брикета, органоминеральных удобрений, торфяного воска сырого, сорбентов из торфа и фрезерного (топливного) торфа в пересчете на 40 %-ную влажность.

С учетом того, что месторождения торфа, используемые для производства указанных видов продукции, значительны по своим запасам и характеризуются несложными горно-геологическими условиями добычи, нормативная величина нормы прибыли на капитальные вложения в освоение торфяных месторождений принята

равной 10 %. Внутренняя норма прибыли, рассчитанная для торфяных месторождений Беларуси в среднем, превышает нормативную норму прибыли. Поэтому промышленные запасы торфа имеют коммерческую стоимость, поскольку обеспечивают получение рациональной нормы прибыли на вложенные инвестиции и представляют интерес для разработки при условии, что годовая производственная мощность торфодобывающего предприятия будет составлять не менее 470 тыс. т торфа при 40 %-ной влажности и указанных в расчетах объемах капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Выполненные расчеты оценки экономической эффективности комплексного использования промышленных запасов торфа показывают, что вложение инвестиций в освоение торфяных месторождений для производства указанной в расчетах продукции окупится в течение 2–5 лет. Исключение составляет торфяной брикет, который окупается через 9 лет. Но органоминеральные удобрения окупаются уже через год. При этом следует отметить, что наибольший экономический эффект достигается при комплексном использовании запасов торфа. Так, при производстве комплексной продукции на основе торфа в сравнении с производством лишь фрезерного (топливного) торфа эффективность возрастает по годовой стоимости произведенной продукции в 83,8 раза, чистому доходу и дисконтированному (приведенному) доходу – в 72 раза (табл. 2). При комплексном использовании торфяных ресурсов в расчете на 1 га отведенной площади может быть получено в 71,9 раза больше чистого и чистого дисконтированного дохода, чем при производстве только фрезерного торфа, что указывает на необходимость развивать такие предприятия.

**Сельскохозяйственное использование торфа.** Самым важным направлением использования торфяных ресурсов является сельское хозяйство, садоводство и тепличное хозяйство в целях производства продукции растениеводства и животноводства. Продуктивность сельскохозяйственных земель, в том числе и торфяных, в значительной мере определяется развитием отношений собственности, организации и управлением организации производства, уровнем использования технологий и уровнем технического состояния хозяйств. Экономическая эффективность основных товарных видов продукции растениеводства обусловливается не только продуктивностью сельскохозяйственных земель, но и влиянием организационных и экономических условий, а также применением в сельскохозяйственной практике научных достижений.

**Таблица 1. Показатели экономической эффективности освоения промышленных торфяных ресурсов в зависимости от видов произведенной продукции за 10 лет разработки**

№ п/п	Показатель	Виды продукции					
		Кормовые добавки	Торфяной брикет	Торфяной воск сырой	Органо-минеральные удобрения	Сорбенты из торфа	Фрезерный (топливный) торф условной 40 %-ной влажности
1	Годовая стоимость произведенной продукции, тыс. долл.	1135,4	1395,2	3329,7	20 382,9	15 147,2	499,6
2	Капитальные вложения, тыс. долл.	1805,5	3642,2	9167,0	12 238,6	18 003,9	1321,5
3	Эксплуатационные затраты (без амортизации), тыс. долл.	323,7	996,8	950,1	5815,5	10 819,1	198,1
4	Амортизация, тыс. долл.	1805,5	3642,2	9167,0	12 238,6	18 003,9	1321,5
4	Балансовая прибыль, тыс. долл.	6311,4	341,5	14 628,8	133 463,4	25 277,9	1693,6
5	Налог на прибыль (18 %), тыс. долл.	1136,1	61,5	2633,2	24 023,4	4550,0	304,9
6	Чистый доход ( <i>NCF</i> ), тыс. долл.	6980,9	3922,5	21 163,0	121 651,4	38 731,3	2709,7
7	Накопленный чистый доход, тыс. долл.	5175,4	280,3	11 996,0	109 412,8	20 727,4	1388,2
8	Чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> ) при 10 %-ной ставке дисконта ( $r = 10 \%$ ), тыс. долл.	4289,4	2410,2	13 003,6	74 748,7	23 798,4	1665,0
9	Накопленный чистый дисконтированный доход, тыс. долл.	2483,9	-1232,0	3836,6	62 509,9	5794,5	343,5
10	Индекс рентабельности инвестиций ( <i>P/I</i> )	2,38	0,66	1,42	6,12	1,32	1,26
11	Внутренняя норма доходности ( <i>IRR</i> ), %	37,13	1,99	19,16	93,74	17,24	15,86
12	Срок окупаемости инвестиций, лет:						
	по чистому накопленному доходу	2,66	9,29	4,33	1,01	4,65	4,89
	по накопленному чистому дисконтированному доходу	3,15	более 10	5,96	1,12	6,57	8,02

**Таблица 2. Сравнение экономической эффективности освоения промышленных торфяных ресурсов в зависимости от видов их использования за 10 лет разработки**

Показатель	Производство фрезерного (топливного) торфа	Комплексное использование торфяных ресурсов	Изменение показателя (столбец 3/столбец 2)
Годовое производство продукции, тыс. т	42,5	234,75	5,5
Стоимость произведенной продукции, тыс. долл.	499,6	41 890,0	83,8
Капитальные вложения, тыс. долл.	1321,5	46 178,8	34,9
Чистый доход ( <i>NSF</i> ), тыс. долл.	2709,7	195 158,8	72,0
Накопленный чистый доход, тыс. долл.	1479,5	148 980,1	100,7
Чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> ) при 10 %-ной ставке дисконта ( $r = 10 \%$ ), тыс. долл.	1665,0	119 915,3	72,0
Накопленный чистый дисконтированный доход, тыс. долл.	343,5	73 736,4	214,7
Внутренняя норма доходности, %	15,86	40,97	2,6
Срок окупаемости инвестиций, лет:			
по чистому накопленному доходу	4,89	2,37	0,5
по накопленному чистому дисконтированному доходу	8,02	2,84	0,4
Произведено на 1 га отведенной площади, тыс. долл.:			
чистого дохода	4,52	325,3	71,9
чистого дисконтированного дохода	2,78	199,9	71,9

Для определения экономической эффективности торфяных месторождений, используемых для производства сельскохозяйственной продукции, более обоснованным представляется *метод дисконтирования дохода*, а для оценки стоимости торфяных месторождений как активов сельскохозяйственного предприятия – *метод капитализации дохода*. Преимущество доходного метода по сравнению с другими состоит в том, что он позволяет учитывать будущие ожидания относительно затрат, цен, инвестиций и включает в себя рыночный аспект, т. е. учитывается ставка дисконта, определяемая сложившимися в данный момент рыночными условиями. На практике он может представляться как основной метод для оценки экономической эффективности освоения и оценки стоимости торфяных месторождений, используемых в сельском хозяйстве [8].

Применение доходного подхода к оценке экономической эффективности торфяных ресурсов в сельском хозяйстве требует также четкого разграничения следующих понятий:

инвестиционные средства – начальные капитальные вложения, осуществляемые в результате освоения торфяных месторождений;

инвестиционные затраты – все расходы (капитальные и эксплуатационные), осуществляемые в процессе освоения торфяных месторождений;

доходы от инвестиций – все денежные поступления (денежный приток и отток) от инвестиций.

Денежный поток в данном случае следует рассматривать как разность между всеми денежными поступлениями за определенный период и денежными затратами за этот же период или как сумму чистой прибыли и амортизации инвестиционных вложений.

Метод дисконтирования основан на прямом преобразовании чистого дохода в стоимость экономического эффекта (чистого дохода) путем умножения его на коэффициент дисконтирования. Под дисконтированием дохода понимается определение на дату проведения оценки экономической эффективности всех будущих равных между собой или изменяющихся с одинаковым темпом величин чистого дохода, получаемого от использования оцениваемого торфяного месторождения в будущем за равные периоды времени. Это метод применим в случае, если будущий чистый доход или денежные потоки будут иметь стабильные положительные величины и возрастать предсказуемыми, устойчивыми и умеренными темпами.

С учетом сказанного выше оценка экономической оценка торфяных месторождений методом дисконтирования дохода может быть выполнена в соответствующем порядке. Для этого определяются временные границы (период времени), в пределах которых производятся расчеты. Затем осуществляется сбор необходимой

информации, соответствующей требованиям полноты и достоверности расчетов, точному соответствуя целям оценки исходя из комплексного учета внешних условий использования торфяных месторождения в будущем. Устанавливаются также исходные данные – объемы капитальных вложений, прогнозируемое производство продукции растениеводства в натуральном выражении (возможно в кормовых единицах), производственные затраты без амортизации и затраты, связанные с реализацией продукции, амортизационные отчисления и др. Так, для разработки нормативов стоимости торфяных месторождений, используемых в сельском хозяйстве, объем капитальных вложений определен в сумме 1531,8 долл. США в расчете на 1 га посевной площади [4], а продуктивность осушенных торфяных сельскохозяйственных земель по годам эксплуатации рассчитана по следующему уравнению:

$$y = -0,0224x^2 + 1,1449x + 38,815,$$

где  $x$  – годы эксплуатации торфяного месторождения.

Показатели продуктивности осушенных торфяных земель, рассчитанные по указанному уравнению по годам эксплуатации, являются прогнозными и обеспечивают их рациональное использование с точки зрения максимальной защиты торфяных ресурсов от минерализации органического вещества и ветровой эрозии. Производственные затраты (без амортизации) рассчитаны в зависимости от продуктивности торфяных земель по уравнению:

$$y = 4,154x + 102,6,$$

где  $x$  – продуктивность осушенных торфяных земель, выраженная в центнерах кормовых единиц с 1 га [7].

Показатели экономической эффективности использования торфяных осушенных земель, используемых в сельском хозяйстве, – чистый доход (чистая прибыль или чистый денежный поток), чистый дисконтированный доход, внутренняя норма рентабельности (*JRR*), срок окупаемости капитальных вложений и другие – рассчитаны в соответствии с уже упоминаемым ТКП. Все эти показатели рассчитаны по годам эксплуатации в расчете на 1 га, адекватны 10 %-ной ставке дисконтирования и цене товарной продукции, равной 14,38 долл. США за 1 ц кормовых единиц. Показатели экономической эффективности использования торфяных осушенных земель в сельском хозяйстве представлены в табл. 3. Из таблицы следует, что экономическая эффективность использования торфяных осушенных земель в сельском хозяйстве является достаточной для осуществления нормальной предпринимательской деятельности и включает в себя определение системы показателей, характеризующих их экономическую ценность.

**Таблица 3. Экономические показатели использования торфяных месторождений в сельском хозяйстве в расчете на 1 га площади за 10 лет эксплуатации (прогноз)**

Показатель	Значение показателя
Продуктивность используемых в сельском хозяйстве торфяных ресурсов, ц. к. ед/га	491,2
Цена товарной продукции, долл./ц. к. ед.	15,58
Стоимость товарной продукции, долл.	7652,5
Эксплуатационные (производственные) затраты с учетом налогов, относимых на себестоимость продукции (без амортизации), долл.	3777,1
Капитальные вложения, долл.	1531,8
Амортизация, долл.	1531,8
Балансовая прибыль, долл.	2343,6
Налог на прибыль (18 %), долл.	421,8
Чистый доход ( <i>NCF</i> ), долл.	3453,6
Накопленный чистый доход, долл.	1921,8
Чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> ) при 10 %-ной ставке дисконта ( $r = 10 \%$ ), долл.	2122,1
Накопленный чистый дисконтированный доход, долл.	590,3
Индекс рентабельности инвестиций ( <i>PI</i> )	1,39
Внутренняя норма доходности ( <i>IRR</i> ), %	18,58
Срок окупаемости инвестиций, лет:	
по накопленному чистому доходу	4,44
по накопленному чистому дисконтированному доходу	6,16
Чистый доход ( <i>NCF</i> ) в среднем за 1 год разработки, долл.	345
Чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> ) при $r = 10 \%$ в среднем за 1 год разработки	212

Внутренняя норма доходности (рентабельности) составляет, как видно из таблицы, 18,58 %, а срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций) по накопленному чистому доходу – 4,44 года, а по накопленному чистому дисконтированному доходу – 6,16 года. Эти показатели свидетельствуют о том, что производство сельскохозяйственной продукции на осушенных торфяных землях является экономически рентабельным. В расчете на 1 га осушенных торфяных земель можно получить 345 долл. США чистого дохода и 212 долл. США чистого дисконтированного дохода. Если учесть, что площадь осушенных торфяных земель, используемых в сельском хозяйстве, составляет около 960 тыс. га, то общий прогнозируемый экономический эффект от использования осушенных торфяных земель по чистому доходу составит 331,2 млн долл. США, а по чистому дисконтированному доходу – 153,8 млн долл. США.

Стоимость торфяных месторождений, используемых в сельском хозяйстве для производства продукции растениеводства, можно определять также методом капитализации чистого дохода. Для этих целей ставка дисконтирования рассчитывается для приведения денежных потоков или чистого дохода к единой стоимости оцениваемого месторождения. С экономической точки зрения применительно к разработке торфяных месторождений ставка дисконтирования отражает норму доходности инвестора, так как учитывает риски инвестирования в освоение торфяного месторождения. С математической точки зрения ставка дисконтирования – это делитель, который применяется для преобразования величины чистого дохода или денежного потока за один пе-

риод времени (один год) в оценочный показатель стоимости оцениваемого объекта.

Следовательно, метод капитализации дохода является простым, достаточно полно отражает прогнозируемую доходность торфяного месторождения и позволяет учесть риски, связанные с изменениями погодных условий и деградацией торфяных ресурсов в результате их нерационального использования. Это метод считается также наиболее достоверным, поскольку отражает рыночную конъюнктуру. Исходя из этого, стоимость 1 га может быть определена как отношение чистого дохода – 345 долл. США к коэффициенту дисконтирования, равному 0,1 и составит 3450 долл. США. Следовательно, общая стоимость торфяных земель, используемых в сельском хозяйстве, будет 3,3 млрд долл. США. Стоимость каждого торфяного месторождения может быть определена исходя его конкретных природно-климатических и других условий использования.

**Природоохранное использование торфяных месторождений.** Для сохранения и приумножения природного капитала (богатства) необходим учет природно-экологических активов – ресурсов и выгод от их рационального использования и пассивов – экономических потерь в результате действия природных факторов, антропогенной деятельности или последствий загрязнения окружающей среды. Для решения этих задач актуальными представляются их экономические (стоимостные) оценки. Отсутствие экономических оценок природного капитала и экологически обусловленных экономических издержек искажают статистику показателей эконо-

мического развития на различных уровнях хозяйственной деятельности, ограничивают возможность их реального сравнения в пространстве и во времени.

Предполагается, что самым значимым ресурсом на мировом рынке в ближайшей перспективе окажутся природные экосистемы, способные в полном объеме выполнять климатообразующие, водорегулирующие, энергетические, производственные и другие защитные функции. Экономическая оценка особо охраняемых природных территорий и болотных угодий важна для предварительного обоснования возможностей дополнительного поступления доходов в виде валютных средств в условиях формирующегося рынка экологических услуг на межгосударственном уровне [3].

Исходя из изложенного выше можно сделать вывод о том, что экономическая эффективность использования торфяно-болотных угодий природоохранного назначения и их вклад в устойчивое региональное развитие могут быть установлены на основе следующих положений. Данные территории несут определенные блага, ценность которых связана с выполнением ими не только ресурсных, но и большей частью нематериальных функций. К ресурсным благам относятся водный и ассимиляционный потенциал, растительный и животный мир. Нематериальными благами считаются создание условий для рекреации, сохранение качества питьевой воды, поддержание водного баланса, сохранение генетического и видового разнообразия объектов живой природы, поддержание естественной продуктивности природных систем в целом и другие природные услуги. Таким образом, общая экономическая ценность торфяно-болотных угодий (как природных территорий) включает в себя как собственно рыночную стоимость тех ресурсов, которыми они располагают, так и стоимость предоставляемых ими нематериальных благ и услуг, которыми опосредованно пользуется общество, а также потенциальных возможностей их использования в будущем. Поэтому экономическая оценка таких территорий может базироваться лишь на моделировании так называемых «суррогатных рынков» и концепции общей экономической ценности природных благ или объектов [7]. Указанная концепция исходит из того представления, что природная среда:

обеспечивает общество природными ресурсами, оценка стоимости которых возможна по их рыночным ценам;

регулирует природные процессы и ассимиляцию отходов и антропогенных загрязнений, оценка стоимости которых возможна на основе

учета затрат на замещение выполняемых природоохранных функций;

обеспечивает людей природными благами и услугами, оценка которых возможна на основе стоимости отложенной альтернативы.

Стоимость использования складывается из следующих показателей: стоимости прямого использования, представляющей собой рыночную оценку товаров и услуг, получаемых от использования, в частности, с изъятием биологических ресурсов – древесины, лекарственных растений, грибов, ягод, устойчивой охоты и рыболовства, туризма и пр.; стоимости косвенного использования, к которым относятся нематериальные блага и косвенные выгоды – связывание углекислого газа, сохранение биологического разнообразия, водорегулирующая, ассимилирующая и другие функции; стоимости альтернативы – условно возможной стоимости, представляющей собой получение доходов в будущем при условии, что данный природный объект сохранится. Стоимость прямого использования определяется на основе сложившихся рыночных цен на товары и услуги, produцируемые биологическими ресурсами и природными территориями. Стоимость косвенного использования позволяет измерить выгоды, создаваемые регулирующими функциями торфяно-болотных систем или экологических услуг, а также дать оценку этих природных территорий в глобальном или региональном масштабах. Стоимость отложенной альтернативы определяется как сумма прямой и косвенной стоимости использования.

Исходя из изложенного выше, определена стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий Беларуси природоохранного назначения (табл. 4). Как следует из данных таблицы, общий доход, определяющий стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий на площади 312,6 тыс. га, составляет по чистому доходу (прибыли) 30 537 тыс. долл., а по чистому дисконтированному доходу – 17 835 тыс. долл. США в расчете на год. Приведенный доход, определяющий стоимость прямого использования торфяно-болотных угодий, рассчитанный доходным методом на основе разработанных нормативов затрат применительно для условий Беларуси, составляет по чистому доходу 6468 (312,6 тыс. га · 20 691 долл.) тыс. долл. США и по чистому дисконтированному доходу – 3974 (312,6 тыс. га · 12 714 долл.) тыс. долл. США. При определении стоимости прямого использования торфяно-болотных угодий мы исходили из доходов и расходов, образующихся в результате заготовки древесины и побочной лесной продукции, развития экологического и сельского туризма, охоты и рыболовства и рассчитанных как нормативные на 1000 га угодий. Возможными видами деятельности и оказываемых экологических услуг в местах торфяно-болотных угодий могут быть

международный туризм, туристические туры местного населения, фотоохота на редких животных и птиц, находящихся в естественных условиях, сбор грибов, ягод, лекарственных трав и другой продукции леса, оказание услуг туристам и посетителям, связанных с проживанием, питанием и отдыхом [3, 5]. Капитальные (инвестицион-

ные) затраты определены в объеме 84 250 долл. США в расчете на 1000 га угодий [3], которые, как показывают расчеты, могут окупиться в течение 4–6 лет. Возможная прибыль на вложенный капитал может быть достаточно высокой (20,97 %), что привлекательно для инвесторов.

**Таблица 4. Общая экономическая ценность торфяно-болотных угодий природоохранного назначения (расчет в среднем на год)**

Показатель	Значение показателя
Площадь торфяно-болотных угодий природоохранного назначения, тыс. га	312,6
В расчете на 1000 га площади, долл.:	
нормативная стоимость прямого использования	12 199
туристическая деятельность	6467
деятельность по обслуживанию туристов и других посетителей	22 502
рекреационная деятельность	3629
охота и рыболовство	1533
доходы от прямого использования ( <i>NSR</i> )	46 330
общие капитальные вложения	84 250
годовые расходы с учетом налогов, относимых на себестоимость продукции (без амортизации)	22 946
амортизация	8425
балансовая прибыль	14 959
налог на прибыль (18%)	2693
чистый доход ( <i>NSF</i> )	20 691
накопленный чистый доход	12 266
чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> ) при 10%-ной ставке дисконта ( $r = 10\%$ )	12 714
накопленный чистый дисконтированный доход	4289
индекс рентабельности инвестиций ( $PI_0$ )	1,51
внутренняя норма доходности ( <i>IRR</i> ), %	20,97
срок окупаемости инвестиций, лет:	
по накопленному чистому доходу	4,07
по накопленному чистому дисконтированному доходу	5,50
Общий доход от прямого использования торфяно-болотных угодий (прямая стоимость), тыс. долл.:	
чистый доход ( <i>NSF</i> )	6468
чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> )	3974
Общий доход от косвенного использования торфяно-болотных угодий (стоимость связывания углерода), тыс. долл.:	
чистый доход ( <i>NSF</i> )	24 069
чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> )	13 861
Общий доход от прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий, тыс. долл.:	
чистый доход ( <i>NSF</i> )	30 537
чистый дисконтированный доход ( <i>NPV</i> )	17 835

Стоимость косвенного использования торфяно-болотных угодий, характеризующая получение возможного дохода от связывания (депонирования) углерода, определена на основании прямого счета [2]. Функция связывания углерода важна также в связи с формированием глобального рынка торговли углеродными квотами и осуществлением сделок на рынке углеродных кредитов. Достаточно развит такой рынок в Западной Европе а также в России, Украине, Китае и др., что предусмотрено Киотским протоколом. Возможности продажи квот на выбросы углекислого газа имеются и в Беларуси.

Если принять во внимание, что на 1 га площади торфяно-болотных угодий в результате фотосинтеза болотной растительности масса связанныго углерода, по данным экспертных оценок, ежегодно составляет 3,6 т, то общая масса связанныго углерода с площади 312,6 тыс. га составит 1125,36 тыс. т. В пересчете на CO<sub>2</sub> эта величина составит 4079,43 тыс. т. На 2013 год цена 1 т углекислого газа на европейском рынке составляла всего лишь 5,9 долл. США, что связано со снижениями темпов экономического роста на фоне мирового экономического кризиса. Тем не менее даже в таких условиях, общая стоимость ежегод-

но связываемого углерода может составить 24 069 тыс. долл. США, а с учетом фактора времени (нормы дисконта, равной 10 %) – 13 861 тыс. долл. США. Таким образом, стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий Беларуси природоохранного назначения составит по чистому доходу 30 537 тыс. долл. США и чистому дисконтированному доходу – 17 835 тыс. долл. США.

Для разработки современной экономической политики, принятия экономически и экологически обоснованных управленческих решений важно знать экономическую ценность конкретных природных объектов и возможных их экологических услуг. Предложенные в статье методы и

подходы экономической оценки торфяных ресурсов могут быть использованы разработчиками программ и различных проектов, связанных с использованием торфяных ресурсов, а также для измерения и оценки стоимости экологических факторов. Указанные методы достаточно просты в применении, имеют прочное теоретическое обоснование. И хотя они нуждаются в дальнейшем совершенствовании и более глубоких исследованиях, уже теперь изложенные выше методы оценки стоимости торфяных месторождений могут способствовать созданию информационного обеспечения для решения целого ряда задач управления в области рационального использования торфяных ресурсов Беларусь.

### Литература

1. **Методические** рекомендации по оценке современного состояния торфяных месторождений и уточнению критериев их распределения по целевым фондам для разработки «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2020 года». – Минск, 2010.
2. **Правила** стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых / ТКП 17.04-08-2008 (02120). – Минск, 2008.
3. **Стратегия** устойчивого развития экологического туризма в Беларуси / Л. М. Гайдукевич [и др.] ; под общ. ред. Л. М. Гайдукевича, С. А. Хомич. – Минск, 2008.
4. **Технико-экономическое** обоснование строительства опытно-промышленного предприятия по комплексной безотходной переработке торфа на базе торфяных месторождений Витебской, Могилевской и Минской областей. Инст. торфа АН БССР. В 2 т. Проект № 7934. – М., 1979.
5. **Томашевич, А. В.** Экономическая оценка геостратегических ресурсов Беларуси: проблемы и решения / А. В. Томашевич, А. В. Унукович, В. М. Яцухно // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С 98–109.
6. **Унукович, А. В.** Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых Беларуси / А. В. Унукович, Я. И. Аношко ; науч. ред. А. К. Карабанов. – Минск, 2012.
7. **Унукович, А. В.** Торфяно-болотные угодья природоохранного назначения и их экономическая ценность / А. В. Унукович, Я. И. Аношко // Природопользование. – 2011. Вып.19. – С. 117–123.
8. **Унукович, А. В.** Оценка экономической эффективности использования ресурсов торфяных месторождений / А. В. Унукович, Л. С. Лис, Я. И. Аношко // Природные ресурсы. – 2011. – № 2. – С. 110–119.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 8.10.2014 г.

**A. B. Krakovetskiy**

### **ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ**

Представлены результаты эколого-экономической оценки направлений использования торфяных ресурсов Беларуси: промышленного, сельскохозяйственного и природоохранного. Выполненные расчеты по оценки экономической эффективности комплексного использования промышленных запасов торфа показывают, что вложение инвестиций в освоение торфяных месторождений для производства приведенной в статье продукции окупается в течение 3–4 лет. Следует также отметить, что при производстве комплексной продукции на основе торфа в сравнении с производством лишь фрезерного (топливного) торфа эффективность освоения месторождения по годовой стоимости произведенной продукции, чистому доходу и чистому дисконтированному доходу возрастает в десятки раз. Общая стоимость торфяных земель используемых в сельском хозяйстве в зависимости от используемого метода экономической оценки значительно варьируется от 26,7 до 153,8 млрд долл. США. Если говорить об экологической составляющей торфяных

ресурсов Беларуси, то стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий Беларуси природоохранного назначения составит по чистому доходу – 142,4 млн долл. США, по чистому дисконтированному доходу – 87,5 млн долл. США.

**A. V. Krakovetskij**

**ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EVALUATION OF  
DIRECTIONS OF PEAT RESOURCES USE OF BELARUS**

*The results of ecological and economic evaluation of peat resources use of Belarus: industrial, agricultural, and environmental appointment – are given in the article. The calculations for evaluating the economic efficiency of complex use of industrial stocks of peat show that investment in the development of peat deposits for the production of goods which are referred in the article will pay off in 3–4 years. It should also be noted that the production of complex goods based on peat in comparison with the production of cutting (fuel) peat efficiency of deposit's development at an annual value of production, net cash flow and net present value increased tenfold. The total cost of peat lands, which are used in agriculture depending on used method of economic evaluation varies considerably from 26.7 to 153.8 billion USD. If we talk about the environmental dimension of peat resources of Belarus, the cost of direct and indirect use of environmental appointment peat and marsh lands of Belarus will be on the net cash flow – 142.4 million, net present value – 87.5 million USD.*

## II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 562.417.636

**И. И. Лиштван<sup>1</sup>, Ю. Г. Янута<sup>1</sup>, А. М. Абрамец<sup>1</sup>, Э. С. Кашицкий<sup>2</sup>, Н. С. Першай<sup>1</sup>**

### **ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ КАУСТОБИОЛИТОВ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ**

*Представлены результаты исследования свойств гуминовых препаратов (ГП), полученные авторами с использованием метода коллоидно-химической сепарации солей гуминовых кислот (ГК). Экспериментально показано существенное различие свойств ГП, выделенных в щелочной и кислой средах, изменение их элементного состава, соотношения функциональных групп, липофильно-гидрофильных фрагментов в молекулярной структуре данных соединений. Изложены результаты сорбционной активности полученных ГП. Выявленные закономерности положены в основу создания новых сорбционных и мелиоративных материалов природоохранного назначения. Приведен анализ литературных источников получения ГП с позиций использования их в разных сферах практической деятельности человека. Обоснованы предпосылки применения ГП в области медицины, фармакологии.*

Гуминовые вещества (ГВ) широко распространены в биосфере. Существование и развитие биосферы тесно связаны с их накоплением. Более 60 % от общего количества углерода на Земле находится в форме гуминовых соединений. Сам термин «ГВ» является собирательным, а вещества, входящие в эту группу, обладают значительным разнообразием как по химическому составу, так и свойствам [25–27]. В составе ГВ принято выделять фульвокислоты (ФК), ГК, гиматомелановые кислоты [19, 26] и гумин [22, 26]. Данная классификация основана на растворимости ГВ в кислых и щелочных водных растворах [3, 7, 22, 24], а также в спиртах [19, 31].

Гумин – фракция ГВ, не растворимая в кислотах и щелочах. ГК – фракция ГВ, растворимая в диапазоне pH 2–12. Данный диапазон является условным, и в ряде работ к ГК относят соединения, переходящие в осадок при pH до 1. К ФК принято относить фракцию ГВ, растворимую во всем диапазоне pH [3]. ГК и ФК, особенно в почвоведении, принято называть гумусовые кислоты [7, 14, 20, 26, 28, 44].

Гумин является наименее изученным материалом из всех приведенных групп. Информация об элементном составе гумина разрознена. Согласно [3, 7], элементный состав гумина зависит от способа выделения ГК. В состав гумина входят два класса соединений: во-первых, неспецифические материалы (лигнин, целлюлоза и др.), во-вторых – гумусовые кислоты, прочно связанные с минеральными компонентами [20]. Авторы [22, 24, 26] к гумину относят лишь комплексы гумусовых кислот с минералами.

Содержание кислородсодержащих функциональных групп, отсутствие водораствори-

мых ГК и ФК создают предпосылки к использованию гумина в качестве сорбционного материала для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов (ТМ) [21]. Известны исследования по использованию ГП после извлечения гумусовых кислот в качестве удобрения для нужд сельского хозяйства. Сложность использования данных ГП состоит в том, что помимо гумина остаток от выделения ГВ содержит в своем составе минеральные компоненты каустобиолита, органо-минеральные комплексы и собственно гумин. Согласно [4, 20], такие органо-минеральные комплексы более устойчивы к биодеструкции, что позволяет рекомендовать данную субстанцию в качестве компонента удобрений, обладающих пролонгированным действием. Высокие pH остатка от выделения гумусовых кислот позволяют использовать его для регулирования реакции среды при биокомпостировании.

ГК – базовый компонент ГВ. Как природные высокомолекулярные соединения они представляют собой широкий класс гомологов, которые состоят из соединений, отличающихся структурой, составом, количеством и топографией молекулярных фрагментов. В зависимости от генезиса сырья, степени его метаморфизма в составе ГК могут преобладать как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные соединения с разным содержанием алифатических и ароматических фрагментов, функциональных групп. Поэтому ГК, выделенные из различных видов сырья, отличаются по составу и свойствам. При обезвоживании и сушке структура фрагментов ГК также претерпевает существенную трансформацию с изменением как состава активных центров ассоциатов

ГК, так и физико-химических свойств препарата в целом [11, 19].

Высокая емкость обмена ГК открывает широкие возможности для производства на их основе ионообменных сорбционных материалов, предназначенных для очистки сточных и технологических вод от ионов ТМ [9, 11, 12, 32, 33].

Специфический конгломерат свойств лиофильно-гидрофильтрной структуры ГК обеспечивает данному классу природных полимеров перспективу использования их в качестве селективного сорбента неполярных углеводородов в природных средах [5, 34–36].

Высокая гидрофильтрность ГВ природных каустобиолитов открывает практически неограниченные возможности разработки на их основе ионообменных мелиоративных материалов для рекультивации территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека, и прежде всего территорий, загрязненных ТМ, радионуклидами [33, 35], т. е. процессы комплексообразования ГК с ионами поливалентных металлов фактически определяют как технологию получения ГП избирательного действия, так и область их практического использования.

ФК – наиболее лабильная составляющая часть ГВ. Они характеризуются высоким содержанием кислородсодержащих функциональных групп, и более низкой по сравнению с гумином и ГК молекулярной массой. Авторами [7] для почвенных ФК определены следующие интервалы варьирования элементного состава: С – 44–49 %; Н – 3,5–5,0; О – 44–49; N – 2,0–4,0 %. Для ФК поверхностных вод данный диапазон отличается и составляет: С – 42–49 %; N – 1,9–2,4; O – 43–48; H – 4–6 % [30]. Более широкие диапазоны варьирования удельного содержания элементов в ФК следующие: С – 40–52 %; Н – 4–6; О – 40–48; N – 2–6 % [6]. Такое различие в соотношении между элементами обусловлено, по-видимому, сырьем, из которого были выделены ФК.

Известно использование ФК в качестве компонентов для выщелачивания ТМ, рекультивации территорий загрязненных ТМ и т. д. [23].

В ГК как в более полно изученной группе ГВ выявлены закономерности изменения их элементного состава, молекулярно-массового распределения в зависимости от вида сырья.

Основными элементами, входящими в состав ГК, являются С, О, Н, N и Р [15, 16, 27]. Их содержание изменяется в широких пределах и зависит от вида исходного сырья, степени метаморфизма, способа выделения и ряда других факторов [16]. Содержание основных элементов в ГК находится в диапазоне: С – 46–62 мас. %, О – 32–38, Н – 3–5, N – 3–6 мас. % на сухое органическое вещество [22].

Указанные границы содержания углерода весьма условны. Его содержание в зависимости от типа сырья может превышать 65 мас. % от органического вещества ГК [39]. Удельное содержание углерода может также снижаться до 43 мас. % у ГК чернозема [39]. В общем случае

процесс гумификации приводит к росту удельного содержания углерода [25].

Кислород является вторым по удельному содержанию элементом, входящим в ГК. Он имеется в составе большинства функциональных групп [16, 22]. Удельное содержание кислорода, а точнее, мольное отношение О:С используется для оценки степени окисленности гумусовых кислот. Однако этот показатель, по мнению [22], является ненадежным. Содержание кислорода в ряду ФК – ГК – гумин снижается.

Существует мнение [17, 21], что ГК не содержит азота, а его наличие в образцах обусловлено примесями. Экспериментально доказано, что азот входит в состав ГК в качестве конституционного элемента. В ГК, выделенных из разных каустобиолитов, содержание азота различно [26].

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследования использовали торф, а также ГК, полученные на его основе. Склонность к ассоциации и, наоборот, к растворению зависит от функционального состава и молекулярной структуры ГК. В их составе преобладают кислородсодержащие функциональные группы, прежде всего карбоксильные. Чем больше содержание функциональных групп в структуре соединения, тем выше его сродство к полярному растворителю, а следовательно, и растворимость. Вследствие преобладания неполярных фрагментов повышается гидрофобность соединения, а значит, уменьшается его растворимость. В результате соединения гидрофильтрной природы при растворении в воде образуют истинные растворы, а гидрофобные – коллоидные. Налицо молекулярно-дисперсное равновесие: истинный раствор ↔ золь ↔ гель ↔ коллоидно-ассоциатное строение [19]. Именно поэтому фракции ГК имеют разную молекулярно-ассоциатную структуру. В связи с этим фракционирование ГК торфа проводили по их растворимости в воде в зависимости от pH среды [17, 35].

Методом дифференциального потенциометрического титрования ГК определено содержание в них функциональных групп, способных участвовать в обменном процессе [14, 18, 20–22, 26]. В работе использован рентгенодифракционный анализ, определение концентрации ионов тяжелых металлов в растворе осуществляли титриметрически и с использованием атомно-абсорбционного анализа.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно данным рентгенодифракционного анализа, по фазовому состоянию все образцы фракций ГК [10, 17, 21] находятся в аморфном состоянии. Три интенсивных сигнала (рис. 1, кривая 1) в области углов отражения 20 (27,3–27,5, 31,6–31,8, 45,3–45,6) можно отнести к остаточной примеси NaCl в образце, обусловленной спецификой выделения ГК. Однако в случае кислой формы ГК, очищенной диализом, наблюдается тенденция к упорядочению структуры, что, очевидно, связано с отсутствием ионизации ГК и компактной локализацией протона. Как след-

ствие, стерические затруднения для упорядочения ГК в Н-форме меньше, однако формирования кристаллизационных структур ГК не происходит. Рентгенофазовый анализ не выявил также в ГК их полисахаридного предшественника – целлюлозы в какой бы то ни было модифицированной форме [15, 16].

Количество соединений, растворимых в хлороформе, снижается при переходе от фракции 1 к

фракции 6 (рис. 2), что можно объяснить ростом их гидрофильности, а также содержанием ионогенных функциональных групп и полярных фрагментов. Наоборот, с ростом pH из гуминового сырья извлекаются ГК, обладающие более выраженным лиофильными свойствами. При этом содержание Н во фракциях ГК коррелирует с их битуминозностью (коэффициент корреляции 0,94).

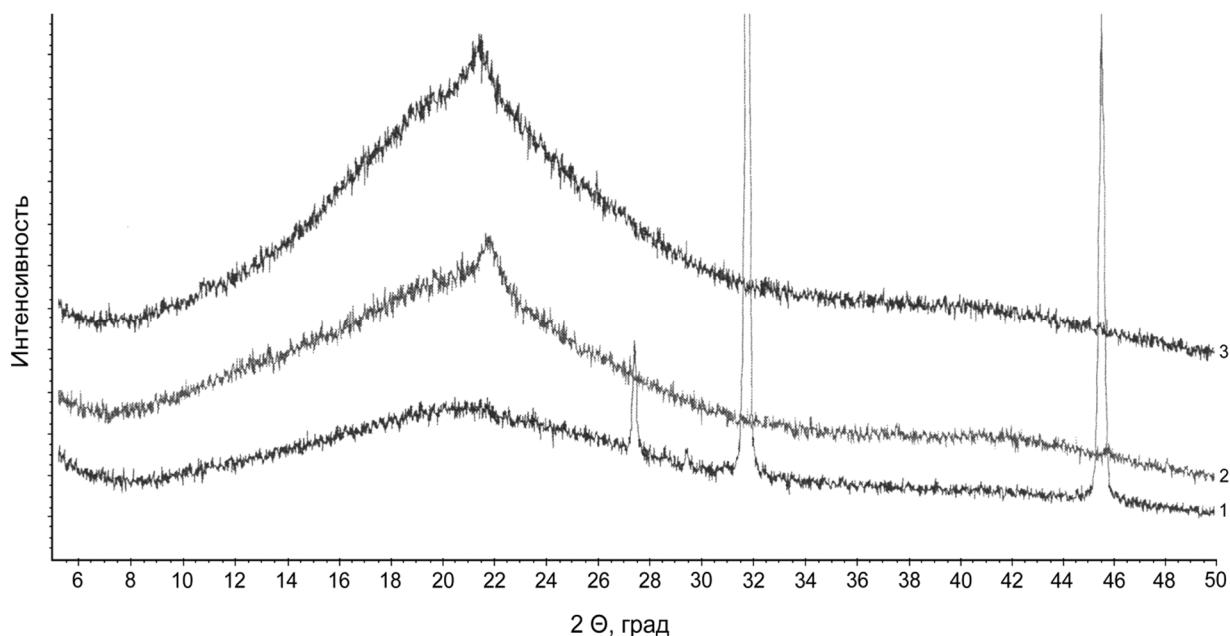


Рис. 1. Рентгенодифрактограммы ГК фракции 5: 1 – Н-ГК; 2 – ГК, очищенная диализом в дистиллированной воде; 3 – ГК, очищенная диализом в кислой среде (0,1 н. HCl)

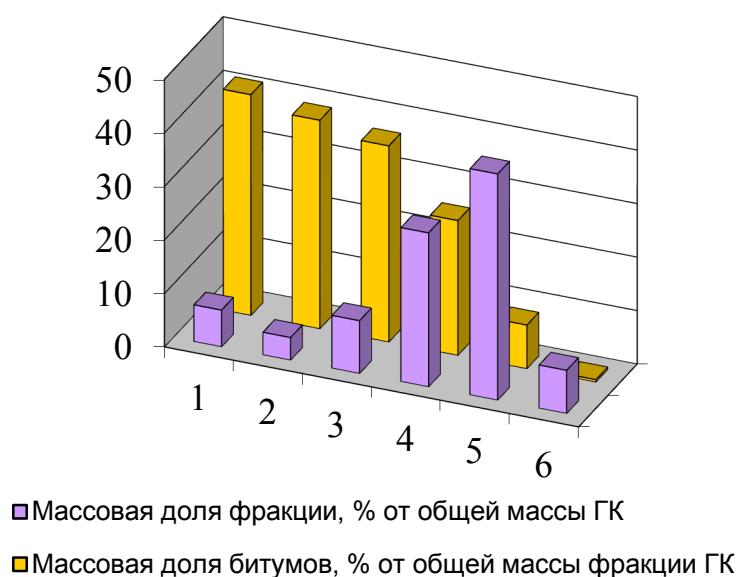


Рис. 2. Удельное содержание фракций ГК и массовая доля содержания в них битумов [10, 15]

Спектры распределения кислотно-основных центров ГК представлены в работах [20, 21]. Поскольку в структуре ГК содержатся функциональные группы в различной форме, то

полученные пики позволяют определить характер (или состояние) функциональных групп. Данные свидетельствуют о преобладании функциональных групп, для которых рРа составляют 2–3,5 и

12,8–14, относящихся к карбоксильным и гидроксильным группам соответственно [8, 9, 21]. Процесс выделения ГК приводит к изменению состояния функциональных групп. При переходе от фракции 3 к фракции 5 функция кислотности ГК  $H_0$  увеличивается от 8,8 до 12,9.

Снижение титрационного показателя  $m$  (табл. 1), характеризующего электростатическое

взаимодействие функциональных групп в ГК, от фракции 1 к фракции 6 для карбоксильных групп может быть связано с уменьшением размера агрегатов ГК. Это снижение, вероятнее всего, происходит из-за уменьшения длины алифатических фрагментов ГК. Подтверждением этому служит тот факт, что рРа карбоксильных групп в составе ГК уменьшается.

**Таблица 1. Характеристики функциональных групп фракций ГК**

Номер фракции	Функциональные группы	$m$	рРа
1	– OH	0,4094	8,59
	– COOH	2,2523	5,91
3	– OH	0,4351	8,59
	– COOH	2,1044	5,72
4	– OH	0,5891	9,26
	– COOH	1,4733	5,08
5	– OH	0,9301	9,70
	– COOH	1,3577	4,96
6	– OH	0,9234	8,32
	– COOH	0,6424	4,22

Для исследования закономерностей взаимодействия ГК с ионами поливалентных металлов использовали водорастворимые солевые формы ГК. Экспериментально исследовано взаимодействие ионов  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  и солевых форм ГК. Установлено, что осаждение продуктов [8, 9, 12] взаимодействия солевых форм ГК с ионами поливалентных металлов зависит как от природы катиона, так и от концентрации солевых форм ГК, а их седиментационная неустойчивость проявляется при достижении некоторой критической концентрации катиона в растворе [8, 9, 42].

Для очистки воды от ионов металлов принципиальным моментом является не только образование комплекса ГК–металл, но и выпадение комплексов из раствора. При малой концентрации ионов поливалентных металлов об-

разующиеся органо-минеральные водонерасстворимые комплексы стабилизированы ионами металлов либо полярными группами ГК, вследствие чего они не образуют компактных структур. И наоборот, при концентрации ионов поливалентных металлов, эквивалентной содержанию функциональных групп в ГП (способных к образованию комплексов), наблюдается образование компактных структур с большей степенью структурной упорядоченности. Оба этих состояния характерны и для гуминового комплексообразователя (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что для ионов железа оптимальное соотношение концентрации металла и концентрации гуматов в исходном растворе составляет 0,023, а для иона меди – 0,071. При меньшем соотношении  $C_{Me}/C_{сорб}$  в растворе остается избыток гуминового сорбента.

**Таблица 2. Зависимость степени очистки растворов от соотношения концентрации ионов поливалентных металлов и гуминового комплексообразователя**

$Fe^{3+}$		$Cu^{2+}$	
$C_{Me}/C_{сорб}$	степень очистки, %	$C_{Me}/C_{сорб}$	степень очистки, %
0,018x	98,0	0,050x	96,0
0,020x	92,0	0,058x	95,6
0,023	91,8	0,071	91,3
0,032	82,4	0,096	82,7
0,047	63,9	0,141	70,4
0,050	63,2	0,150	64,2

Для оценки влияния ионной силы раствора на селективность и эффективность взаимодействия металлов с солевыми формами ГК исследована сорбция ионов меди ГП в присутствии  $NaCl$  (ионную силу раствора  $\mu$  изменяли от 0,005 до 0,4),  $CaCl_2$  ( $\mu = 0,006\text{--}0,03$ ),  $AlCl_3$  ( $\mu = 0,003\text{--}0,06$ ). Установлено, что с ростом ионной силы

раствора сорбция ионов солевыми формами ГК уменьшается. Причем с увеличением ионной силы от 0 до 0,03 сорбция меди в присутствии  $NaCl$  снижается на 22 %,  $CaCl_2$  – на 52 и  $AlCl_3$  – на 58 %, а с ростом ионного потенциала металла в сложных растворах сорбция ионов меди (при равной ионной

силе раствора) тем меньше, чем выше ионный потенциал ионов сопутствующего металла.

**Выходы.** Таким образом, результаты экспериментальных исследований физико- и коллоидно-химических свойств ГК свидетельствуют об уникальности свойств данного класса природных соединений и возможности их применения для решения задач охраны окружающей среды.

В целом чем больше молекулярная масса фракции ГК либо ее солевой формы, тем выше эффективность ГК как комплексообразователя, т. е. как депрессора переноса ионов поливалентных металлов в водной среде, почвенных систем [1, 12, 21, 45, 47]. В тоже время, чем больше ионный потенциал поливалентного катиона, тем выше его склонность к комплексообразованию с ГК, ее солевыми формами и прежде всего с Na-ГК, для которой характерно максимальное значение СОЕ.

Экспериментально доказано, что в зависимости от pH среды осаждения солевых форм ГК изменяется липофильно-гидрофильный баланс фракций ГК. В щелочной среде фрагменты ГК имеют больше липофильных фрагментов, а выделенные в кислой – гидрофильных.

**Заключение и перспективы использования.** На основе приведенных выше исследований разработано и организовано производство в Республике Беларусь более 15 новых материалов для охраны окружающей среды, а именно: сорбенты ионов тяжелых металлов [32, 33, 41, 43]; гуминовые мелиоранты почв [9, 13, 40, 46], загрязненных ТМ (радионуклидами); гуминовые мелиоранты песчаных почв и территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека; мелиоранты засоленных пустынных почв [4, 40] с целью их "зеленого" обустройства; другие материалы для решения задач охраны окружающей среды на основе ГВ природных каустобиопитов либо их агломерированных композиций, модифицированных солевыми формами ГК, и т. д. [32, 40, 43, 46].

Традиционно ГП используются в сельском хозяйстве. Применение ГК в солевой форме в качестве компонентов удобрений, комплексообразователей с микроэлементами, модифицированных форм в качестве стимуляторов роста растений [38] альтернатив не имеет. В животноводстве обосновано применение ГП в качестве компонентов кормовой добавки, источника микроэлементов и т.д. Солевые формы ГК используются также в качестве пластификаторов при производстве сантехнической керамики, компонентов буровых и тампонажных растворов [19, 20]. Известны работы по применению ГК в качестве компонентов аккумуляторных батарей, в технологиях выщелачивания урана [23].

Краткий анализ исследований в области изучения свойств ГП свидетельствует о широкой сфере их употребления для решения проблем человека как с позиций среды его обитания (эко-

логии, растениеводства), так и для обеспечения нормального функционирования его жизненного цикла. Перспективным и в определенной мере не совсем «освоенным» направлением применения ГП, являются бальнеология, медицина, ветеринария, косметология, фармакология и др.

Выполнены исследования по использованию ГП в бальнеологии. Разработан препарат «Оксидат торфа», который применяется в терапии кожных заболеваний в виде общих теплых ванн, а также аппликаций препарата на очаги поражения кожи [29]. Он представляет собой 5 %-ный водный концентрат биологически активных веществ, содержащихся в торфе, который получают путем его гидролитического расщепления при повышенных температуре и давлении с последующим центрифугированием гидролизата и удалением балластных веществ. В состав препарата входят соединения ГК и ФК, азотсодержащие и белковые вещества, микроэлементы (Mn, Mo, P, Cu, Zn, Se и др.), битумы, производные целлюлозы, стериоидные вещества, полисахариды [29].

Запасы торфа в Республике Беларусь с точки зрения медицинского использования практически неисчерпаемы и повсеместно доступны. Это позволяет сделать вывод, что, после того как будет проведен соответствующий комплекс исследований в ходе разработки новых энтеросорбентов (выбор наиболее активных образцов, проведение токсикологических испытаний, создание лабораторного и промышленного регламента и т.д.), промышленное их производство наладится, что позволит удовлетворить потребности как внутреннего, так и внешнего рынков в необходимом количестве ГП.

Обоснованность таких ожиданий в значительной степени подкрепляется многочисленными данными о биологической активности гуматов, главным образом в ветеринарии. Примером могут служить препараты «Гумивал», «Гуминат», «Гумадапт», «Гувитан», «Гувитан-С», «Гумитон», «ЭСТ-1», «Гумин-HS-1500» и ряд других. По мнению ряда авторов, это указывает на возможность успешного применения подобных продуктов и в медицине [2].

Однако медицинское использование гуматов в основном ограничено препаратами наружного и косметического назначения и бальнеологией. Одно из подобных средств «Гумивит-Н». Для применения внутрь предлагаются главным образом многочисленные БАДы, в том числе в качестве энтеросорбентов, например «Гумивит», «Цеоллам» и др. Данные о выпускаемых для медицинских целей энтеросорбентах в настоящее время отсутствуют. Это обстоятельство, по мнению авторов [2, 37], представляется удивительным, если учесть информацию о многостороннем оздоровливающем воздействии гуматов на организм. Считаем такое поведение ГП вполне зако-

номерным, и причина их негативного влияния может заключаться в специфических эффектах взаимодействия с белковыми макромолекулами, проявляющихся как воздействие дубителя или вяжущей среды. Недостатки, таким образом, являются продолжением их достоинств как веществ с антимикробной, антивирусной и антигрибковой активностью [2, 37].

Вяжущее действие ГП помогает в терапии ожоговой болезни, так как они оказывают антисептический и анальгизирующий эффект. Вместе с тем именно благодаря подобным свойствам ГП имеется риск нарушения иннервации желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и сбоя парасимпатической нервной системы в нем. Это приводит к затруднению пассажа содержимого ЖКТ (запору) и последующей интоксикации организма. Разумеется, в ветеринарной практике данный эффект в значительной степени «замаскирован», потому что применение ГП в животноводстве всегда сочетается с грубыми кормами. Понятно, что в клинической практике подобное представить нельзя, тем более что предусмотренная терапия осуществляется вне связи с приемом какой-либо пищи, так как больной зачастую находится под наркозом в бессознательном состоянии, а энтеросорбент вводится в ЖКТ посредством специальных

зондов, в том числе и через нос. Для человека должна быть разработана иная схема введения подобных продуктов в ЖКТ, чтобы не привести к его функциональной недостаточности. Приемлемый путь в создании энтеросорбентов, на наш взгляд, заключается в нахождении оптимальных комбинаций соответствующих фракций ГП.

Таким образом, имеющийся научный задел по ГП открывает перспективы для создания на первом этапе новых типов энтеросорбентов с улучшенными, приближенными к природным аналогам свойствами при существенно меньшей стоимости. Актуальность таких работ в Беларуси особо обостряется из-за последствий различных видов техногенного загрязнения окружающей среды, в том числе из-за Чернобыльской аварии. Применение гуминовых энтеросорбентов позволяет снизить внутреннюю дозу облучения организма и увеличить его адаптационные возможности, включая способность противостоять иммунодефициту. Одновременно исследования, выполненные в последние годы, позволили разработать процессы получения ГВ со стабильными физико-химическими свойствами [35], что создает предпосылки для их использования в различных отраслях народного хозяйства.

## Литература

1. **Абрамец, А. М.** Массоперенос в природных дисперсных материалах / А. М. Абрамец, И. И. Лиштван, Н. В. Чураев. – Минск, 1992.
2. **Беркович, А. М.** Применение гуминовых и гуминоподобных препаратов в ветеринарии и медицине [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.humipharm.ru/research/prim.pdf>. – Дата доступа : 31.07.2014.
3. **Горовая, А. И.** Гуминовые вещества. Строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко ; под ред. И. И. Лиштвана. – Киев, 1995.
4. **Дударчик, В. М.** Основные закономерности взаимодействия гумусовых веществ торфа с глинистыми минералами : дис. ... канд. техн. наук: 05.15.05 / В. М. Дударчик. – Минск, 1988.
5. **Завод новых продуктов** [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.znp-sorbent.com>. – Дата доступа : 31.07.2014.
6. **Кирюхин, В. К.** Определение органических веществ в подземных водах / В. К. Кирюхин, С. Г. Мельканивицкая, В. М. Швец. – М., 1976.
7. **Кононова, М. М.** Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. – М., 1963.
8. **Лиштван, И. И.** Взаимодействие гуминовых кислот с ионами металлов и структура металлгуминовых комплексов / И. И. Лиштван [и др.] // Вестник БГУ. Сер. 2: химия, биология, география. – 2012. – № 2. – С. 12–15.
9. **Лиштван, И. И.** Гуминовые кислоты каустобиолитов как основа новых материалов для охраны окружающей среды и «зеленого» строительства / И. И. Лиштван [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2009. – Т. 17. – С. 275–281.
10. **Лиштван, И. И.** Гуминовые кислоты. Спектральный анализ и структура фракций / И. И. Лиштван [и др.] // Вестник БГУ. Сер. 2: химия, биология, география. – 2012. – № 1. – С. 18–23.
11. **Лиштван, И. И.** Гуминовые кислоты торфа и препараты на их основе / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2004. – Вып. 10. – С. 114–118.
12. **Лиштван, И. И.** Гуминовые препараты. Взаимодействие с ионами металлов и процессы переноса в почве / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2003. – Вып. 9. – С. 151–154.
13. **Лиштван, И. И.** Гуминовые препараты как экологобезопасные продукты для охраны окружающей среды / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2011. – Вып. 19. – С. 151–158.
14. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975.
15. **Лиштван, И. И.** Полифракционность и физико-химические свойства фракций гуминовых кислот / И. И. Лиштван [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. науок. – 2011. – № 4. – С. 89–94.

16. **Лиштван, И. И.** Спектральные исследования фракций гуминовых кислот / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2006. – № 4. – С. 3–11.
17. **Лиштван, И. И.** Структура фракций гуминовых кислот торфа / И. И. Лиштван [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. науок. – 2005. – № 1. – С. 108–113.
18. **Лиштван, И. И.** Трансформация систем полисопряжения гуминовых кислот в процессе метаморфизма каустобиолитов / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2012. – № 3. – С. 14–19.
19. **Лиштван, И. И.** Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник ; под ред. Т. П. Ткачевой. – Минск, 1976.
20. **Лиштван, И. И.** Физико-химические свойства лигногуминовых кислот и их солевых форм / И. И. Лиштван [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2009. – Т. 17. – С. 275–281.
21. **Лиштван, И. И.** Фракционирование гуминовых кислот как метод получения стандартизованных гуминовых материалов / И. И. Лиштван [и др.] // Вестник БГУ. Сер. 2: химия, биология, география. – 2012. – № 2. – С. 7–11.
22. **Орлов, Д. С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. – М., 1990.
23. **Пантелеев, В. М.** Пути решения проблем добычи природного урана и геоэкологического неблагополучия регионов / В. М. Пантелеев. – Иркутск, 2008.
24. **Першай, Н. С.** Физико-химические свойства водонерастворимого остатка после щелочного гидролиза каустобиолитов / Н. С. Першай [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 161–167.
25. **Пигулевская, Л. В.** Исследование химического состава гуминовых кислот на различных стадиях формирования торфа / Л. В. Пигулевская [и др.] // Исследования по технологии, механической и химической переработки торфа. – Минск, 1972. – С. 165–169.
26. **Попов, А. И.** Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / А. И. Попов. – СПб, 2004.
27. **Попова, Л. П.** Исследование химического состава фракций торфяных гуминовых кислот : автореф. дис. ... канд. хим. наук / Л. П. Попова. – Калинин, 1969.
28. **Почвоведение.** Состав и свойства гумусовых веществ (ч. 2) [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://racechrono.ru/pochvovedenie/3053-sostav-i-svoystva-gumusovyh-veschestv-chast-2.html>. Дата доступа : 30.07.2014.
29. **Препарат** биологически активный «Оксидат торфа» в лечении псориаза и аллергодерматозов. Способ бальнеотерапии (Инструкция на метод). Рег. номер 16-9901.
30. **Славинская, Г. В.** Равновесие сорбции фульвокислот природных вод анионитами / Г. В. Славинская [и др.] // Вестник ВГУ. Сер.: Химия. Биология. Фармация. – 2003. – № 2. – С. 66–70.
31. **Способ** получения гиматомелановых кислот: пат. 17019 Респ. Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – Вып. 3. – С. 133.
32. **Способ** получения гуминового сорбента для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов: пат. 10662 Респ. Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – Вып. 3. – С. 74.
33. **Способ** получения композиционного гранулированного гуминового сорбента тяжелых металлов на минеральном носителе: пат. 10647 Респ. Беларусь / Ю. Г. Янута [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 3. – С. 74.
34. **Способ** получения лигногуминовых кислот : пат. 15960 Респ. Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 133.
35. **Способ** получения фракций гуминовых кислот: пат. 14632 Респ. Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – С. 105.
36. **Способ** рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтесодержащими продуктами: пат. 2978 Респ. Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1999. – Вып. 3. – С. 100.
37. **Стом, Д. И.** Возможные механизмы бальнеологического действия гуминовых веществ / Д. И. Стом [и др.] // Сибирский мед. журн. – 2008. – № 6. – С. 76–79.
38. **Томсон, А. Э.** Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск, 2009.
39. **Федорова, Т. Е.**  $^{13}\text{C}$ -ЯМР спектроскопия гуминовых кислот различного происхождения / Т. Е. Федорова [и др.] // Почвоведение. – 2003. – № 10. – С. 1213–1217.
40. **ЭридГроу.** Технология озеленения пустынь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.aridgrow.by>. – Дата доступа : 31.07.2014.
41. **Янута, Ю. Г.** Взаимодействие гуминовых кислот с ионами тяжелых металлов и особенности образования металлгуминовых комплексов / Ю. Г. Янута // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. науок. – 2006. – Вып. 5. – С. 110–113.
42. **Янута, Ю. Г.** Подвижность ионов железа в гуминовых соединениях бурого угля / Ю. Г. Янута // Приложение к журн. Весці НАН Беларусі. Сер. хім. науок. – 2011. – Ч. 1. – С. 65–68.
43. **Янута, Ю. Г.** Получение и регулирование свойств сорбционных материалов на основе гуминовых веществ торфа : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 2006.
44. **Geoffrey, D.** Humic acids: marvelous products of soil chemistry / D. Geoffrey [et al.] // J. Chem. Educ. – 2001. – Vol. 78, Is. 12. – P. 1609–1614.
45. **Lishtvan, I. I.** Humic acids as depressors of radionuclides (heavy metals) accumulation by plants / I. I. Lishtvan [et al.] // 1st International nuclear chemistry congress: abstract. – Kusadasi, 2005. – P. 163.
46. **Lishtvan, I. I.** Humic preparations as universal natural regulators of structure, water properties, fertility of soil systems / I. I. Lishtvan [et al.] // Physical, chemical and biological processes in soils. – Poznan, 2010. – P. 333–345.

47. Lishtvan, I. I. Processes of transfer and mechanisms controlling radionuclides (heavy metals) mobility in soils / I. I. Lishtvan [et al.] // The 2nd International Conference on Radioactivity in the Environment: abstract. – Oslo, 2005. – P. 204.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Институт физиологии НАН Беларуси

Поступила в редакцию 2.09.2014 г.

**И. И. Лиштван, Ю. Г. Янута, А. М. Абрамец, Э. С. Кашицкий, Н. С. Першай**

### **ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ КАУСТОБИОЛИТОВ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ**

На основе анализа исследований, выполненных в Институте природопользования НАН Беларуси, представлена классификация и особенности состава гуминовых веществ в зависимости от их растворимости в водных средах различной кислотности. Экспериментально доказана полифракционность гуминовых кислот. Установлено, что ГК выделенные в кислой среде содержат в своем составе больше кислородсодержащих функциональных групп (карбоксильных и гидроксильных), чем выделенные в щелочной среде. Гуминовые препараты, выделенные в щелочной среде, содержат в своем составе большее количество растворимых в хлороформе, т.е. алифатических фрагментов. Доказана возможность получения гуминовых препаратов с требуемыми физикохимическими свойствами (стандартизованных) путем их коллоидно-химической сепарации. Показана возможность получения на основе гуминовых соединений сорбентов ионов тяжелых металлов, а также неполярных соединений. Выполнен анализ литературных источников применения гуминовых препаратов в животноводстве и медицине. Обоснованы предпосылки использования гуминовых веществ в фармакологии, бальнеологии, медицине и получения гуминовых препаратов для охраны окружающей среды.

**I. I. Lisntvan, U. G. Yanuta, A. M. Abramets, E. S. Kashitsky, N. S. Pershaj**

### **HUMIC SUBSTANCES BASED ON CAUSTOBIOLITES IN SCIENCE AND PRACTICE**

The classification and composition of humic substances depending on their solubility in aqueous media of different acidity based on the analysis of research carried out at the Institute for Nature Management of NAS of Belarus has been shown. The multifractional humic acids proved experimentally. It has been established that the HA allocated in acidic medium contains in its composition more oxygen-containing functional groups (carboxyl and hydroxyl) than that isolated in an alkaline medium. Humic compositions purified in an alkaline environment contain in its composition more soluble in chloroform, i. e. aliphatic fragments. The possibility of humic substances producing with the desired physicochemical properties (standardized) by their colloid-chemical separation has been demonstrated. The possibility of humic compounds producing based on sorbents of heavy metal ions, as well as non-polar compounds has been shown. The analysis of the literature applying humic substances in animal husbandry and medicine has been done. The backgrounds of the usage of humic substances in pharmacology, balneology, medicine and obtaining humic substances to the environment have been justified.

**Г. П. Бровка, И. И. Лиштван, Н. Е. Сосновская, И. Н. Дорожок****ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ  
ЗОЛЬНЫХ ОСТАТКОВ БУРЫХ УГЛЕЙ  
СОПУТСТВУЮЩИХ МАКРО- И МИКРОКОМПОНЕНТОВ**

*Показана принципиальная возможность безотходной технологии переработки зольных остатков бурых углей Лельчицкого углепроявления с получением реализуемой на внутреннем и внешнем рынках товарной продукции при минимальном воздействии на окружающую среду и повышении рентабельности освоения месторождений бурых углей.*

Золошлаковые отходы (ЗШО) сжигания бурых углей являются источником повышенной экологической опасности, оказывая негативное воздействие на окружающую среду, а также являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования. В то же время ЗШО содержат широкий спектр химических элементов, которые при применении определенных технологических решений экономически целесообразно использовать в народном хозяйстве [1–4]. В настоящее время ЗШО рассматриваются в качестве вторичных ресурсов сырьевого значения, т. е. их можно использовать как техногенные месторождения полезных ископаемых.

Вовлечение в хозяйственный оборот золошлаковых материалов может привести к значительному экономическому эффекту. Экономический эффект обусловливается следующими факторами:

использованием более дешевых сырьевых ресурсов;

уменьшением издержек на размещение отходов производства;

минимизацией негативного воздействия на окружающую среду;

повышением рентабельности освоения месторождений бурых углей.

При этом следует отметить, что извлечение из золошлаковых отходов ценных компонентов связано с решением сложных научных и технологических задач. Это обусловлено наличием в зольных отходах широкого спектра редких металлов относительно низких концентраций и относительно высоких концентраций в них породообразующих металлов (алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия и др. металлов).

В указанном направлении в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларуси проведены исследования с зольными отходами от сжигания технологической пробы бурых углей Лельчицкого месторождения. Основной целью этой работы являлось определение в золе технологической пробы бурых углей Лельчицкого месторождения наличия редких металлов (легкие – бериллий; тугоплавкие – титан, цирконий, гафний, ниобий, tantal, рассеянные –

галлий; редкоземельные – скандий, иттрий, лантан и лантаноиды; радиоактивные – уран, торий) и оценка технологической возможности дифференцированного извлечения указанных элементов. Работа выполнялась по заказу филиала «БЕЛГЕО» Государственного предприятия «БелНИГРИ» «Оценить возможность извлечения из зольных остатков технологической пробы бурых углей Лельчицкого месторождения сопутствующих компонентов».

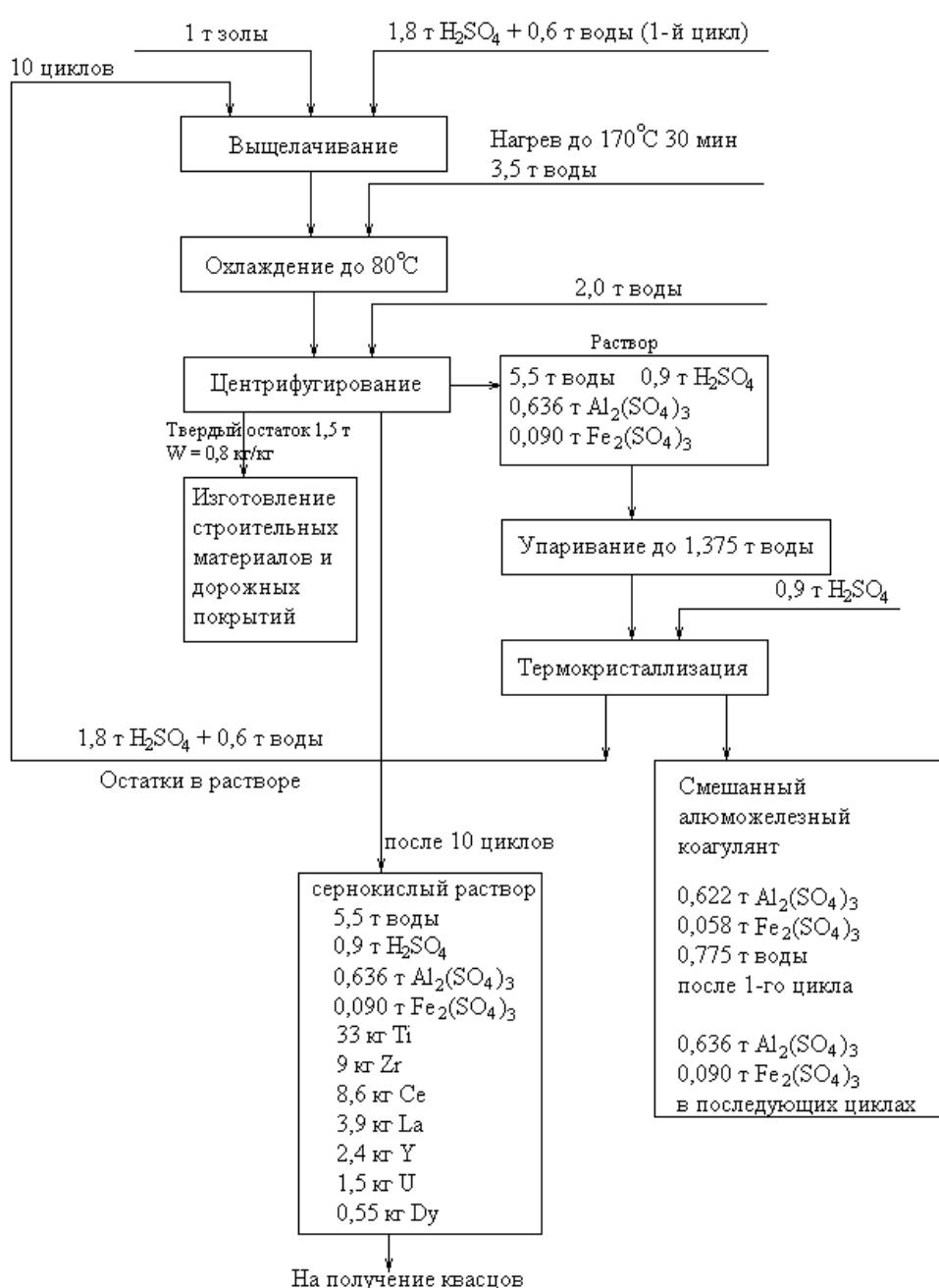
В результате выполненных исследований разработаны способы дифференцированного выделения из золы соединений алюминия и железа в виде сульфатов алюминия и железа или алюмоаммониевых и железоаммониевых квасцов с последующим извлечением редких металлов методом осаждения или сорбции в динамическом режиме (методом хроматографии). Было установлено, что наиболее эффективным способом перевода в растворимое состояние соединений металлов, находящихся в золе исследуемых бурых углей, является сернокислотное выщелачивание при концентрации серной кислоты 70–80 % и температуре 170–180 °С. При таких условиях в раствор переходят практически все компоненты, за исключением соединений кремния и кальция. Так, в раствор переходит до 90 % алюминия и практически полностью железо. Учитывая то обстоятельство, что количество указанных элементов на 2–3 десятичных порядка превышает количество редких элементов, находящихся в золе, в первую очередь необходимо отделить породообразующие элементы (алюминий и железо) от ценных редких элементов. Следует учитывать возможность получения ценной товарной продукции из указанных породообразующих элементов. После выделения из раствора выщелачивания алюминия и железа создаются благоприятные условия для извлечения соединений ценных редких элементов методами осаждения, сорбции, хроматографии, экстракции и др.

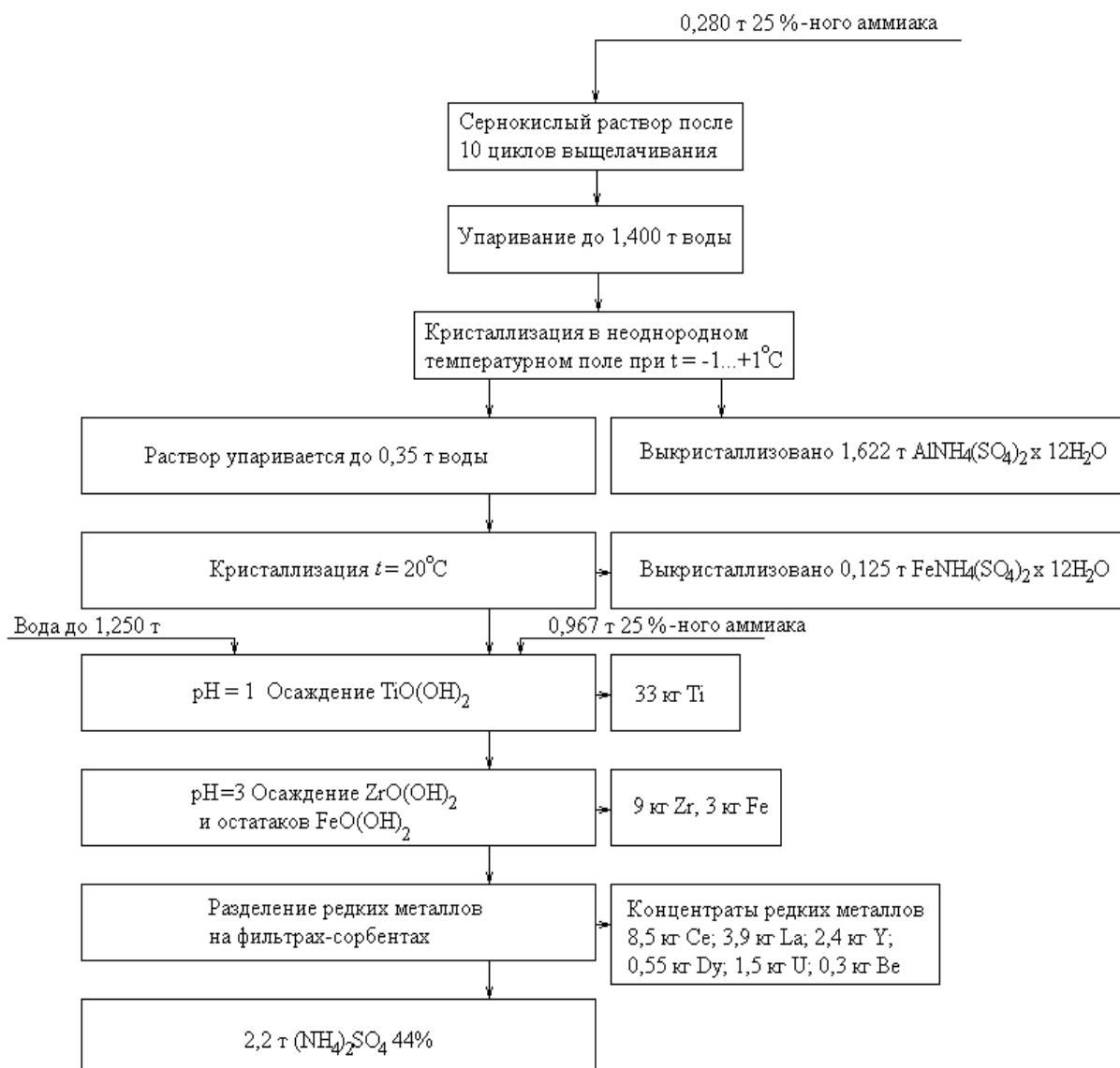
С учетом изложенных выше предпосылок, разработана принципиальная технологическая схема переработки зольных остатков бурых углей Лельчицкого углепроявления, которая представлена на рисунке.

Технологический процесс начинается с внесения в зольные остатки серной кислоты в

количестве 1,8 т 96 %-ной  $H_2SO_4$  и 0,6 т воды на 1 т золы. Затем этот состав выдерживается в течение 30 мин. при температуре 180 °C. После этого смесь охлаждается до температуры 100 °C, и в нее вносится 3,5 т воды. Температура суспензии доводится до 70–80 °C и с помощью центрифугирования отделяется сернокислый раствор, содержащий соединения выщелоченных металлов, и твердый остаток. Центрифугирование ведется в два этапа. На первом этапе удаляется основное количество раствора из суспензии. Затем в твердый влажный остаток вносится вода из расчета 2 т на 1 т исходного зольного остатка, подвергшегося сернокислотному выщелачиванию. После тщательного перемешивания суспензии проводится повторное центрифугирование.

Раствор, полученный после повторного центрифугирования, смешивается с раствором, полученным на первом этапе центрифугирования. В итоге получается раствор, содержащий 5,5 т воды, 0,9 т  $H_2SO_4$ , 0,636 т  $Al_2(SO_4)_3$  и 0,090 т  $Fe_2(SO_4)_3$ . Кроме того, в растворе будет находиться основное количество редких металлов, содержащихся в золе и представляющих интерес для промышленного освоения. Полученный при этом влажный твердый остаток, не содержащий токсичных и радиоактивных соединений, может быть направлен для получения материалов строительного назначения и дорожных покрытий. Его количество будет составлять 1,5 т при влаго содержании 0,8 кг/кг.





#### Принципиальная технологическая схема переработки зольных остатков бурых углей

Следующим этапом является упаривание сернокислого раствора до 1,375 т воды с последующим добавлением 0,9 т концентрированной серной кислоты. Полученный раствор направляется на специальную установку, где проводится термокристаллизация сульфатов алюминия и железа в неоднородном температурном поле. Концентрация  $H_2SO_4$  при этом составляет около 60 %. В итоге после первого технологического цикла получается смешанный алюмо железный коагулянт, содержащий 0,622 т  $Al_2(SO_4)_3$ , 0,058 т  $Fe_2(SO_4)_3$  и 0,775 т воды.

На 10-м цикле сернокислый раствор, содержащий 5,5 т воды, 0,9 т  $H_2SO_4$ , 0,633 т  $Al_2(SO_4)_3$ , 0,090 т  $Fe_2(SO_4)_3$ , а также 33 кг Ti, 0,9 кг Zr, 8,6 кг Ce, 8,9 кг La, 2,4 кг Y, 1,5 кг U, 0,55 кг Dy и 0,3 кг Be, направляется на получение из него алюмоаммонийных и железоаммонийных квас-

цов. Для этого раствор упаривается до 1,4 т воды, и в него вносится 0,28 т водного раствора 25 %-го аммиака. После этого раствор направляется в специальную установку для термокристаллизации в неоднородном температурном поле с температурой в зоне кристаллизации от -1 до +1°C. При таких условиях удается выделить 1,622 т алюмоаммонийных квасцов  $AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Оставшийся раствор упаривается до 0,35 т воды, и из него при температуре от +10 до +20°C кристаллизуется 0,125 т железоаммонийных квасцов  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$ . Далее в оставшийся раствор добавляется 1,250 т воды и 0,960 т водного раствора 25 %-го аммиака, и pH раствора доводится до 1,0. При этом из раствора осаждается гидроокись титана  $TiO(OH)_2$ , содержащая 33 кг Ti.

На следующем этапе pH раствора доводится до 3 для осаждения гидроокисей циркония и остатков железа  $ZrO(OH)_2$ ,  $FeO(OH)_2$  в количестве 9 кг Zr и 3 кг Fe. После выполнения всех изложенных выше технологических операций в растворе концентрируются редкие металлы в основном лантаноиды: 8,5 кг Ce, 3,9 кг La, 2,4 кг Y, 0,55 кг Dy, а также 1,5 кг U и 0,3 кг Be. Для выделения и разделения указанных металлов используются специальные фильтры-сорбенты из органогенных материалов, торфа или бурого угля с высоким содержанием гуминовых соединений. За счет различия коэффициентов распределения указанных металлов при фильтрации раствора с определенной скоростью происходит концентрирование каждого металла на определенном участке фильтра-сорбента, т.е. используется метод хроматографического разделения металлов.

Для оценки возможности выделения и разделения редкоземельных элементов, урана и бериллия определены их коэффициенты распределения в сорбенте, полученном из бурого угля Бриневского месторождения при  $pH = 3$ , и выполнены расчеты конвективного переноса элементов при фильтрации раствора с концентрацией лантаноидов, урана и бериллия в соот-

ветствии с данными технологической схемы на этапе, заканчивающемся осаждением циркония и железа.

С учетом того что линейная скорость перемещения сорбируемого элемента в пористой среде сорбента определяется формулой

$$U = \frac{V}{1 + K_d / W}, \quad (1)$$

где  $U$  – линейная скорость перемещения сорбируемого элемента, м/с;  $V$  – линейная скорость фильтрационного потока влаги, м/с;  $K_d$  – коэффициент распределения;  $W$  – влагосодержание, кг/кг, было рассчитано распределение концентраций сорбируемых элементов, приведенных в табл. 1, при условии, что в течение 2,4 ч в фильтр-сорбент подавался раствор с линейной скоростью фильтрационного потока  $1,26 \cdot 10^{-4}$  м/с, полученный после всех циклов выщелачивания и осаждения, а затем в оставшуюся часть суток (21,6 ч) в фильтр-сорбент подавалась чистая вода. В табл. 1 представлены параметры распределения сорбируемых элементов в сорбирующем материале при указанных условиях фильтрации раствора через фильтр-сорбент.

**Таблица 1. Параметры распределения редких элементов в фильтре-сорбенте**

Элемент	$K_d$	$C_p, \%$	$U, \text{м/с}$	$C_t, \text{кг}/\text{м}^3$	$l, \text{м}$	$\Delta l, \text{м}$	$M, \text{кг}$
Y	90	0,04	$6,73 \cdot 10^{-6}$	6,1	0,58	0,058	0,35
La	82	0,07	$7,36 \cdot 10^{-6}$	9,75	0,63	0,063	0,62
Ce	98	0,14	$6,21 \cdot 10^{-6}$	23,3	0,54	0,054	1,26
Dy	92	0,01	$6,60 \cdot 10^{-6}$	1,56	0,57	0,057	0,09
U	150	0,025	$4,13 \cdot 10^{-6}$	6,38	0,36	0,036	0,23
Be	121	0,006	$5,08 \cdot 10^{-6}$	1,23	0,43	0,043	0,05

Примечание.  $C_p$  – массовая концентрация элемента в исходном растворе;  $C_t$  – объемная концентрация элемента в сорбирующем материале;  $l$  – положение фронта средней концентрации элемента в фильтре-сорбенте;  $\Delta l$  – ширина зоны локализации концентрации элемента в фильтре-сорбенте;  $M$  – масса сорбируемого элемента на единицу площади фильтра-сорбента.

Из приведенных данных видно, что путем фильтрации раствора, содержащего элементы с различными коэффициентами распределения, через фильтр-сорбент и последующей фильтрации чистой воды можно их локализовать на различном расстоянии от начала входа фильтрата в сорбирующую среду. При этом в данном случае с помощью сорбента, полученного из бурого угля, можно дифференцированно локализовать в нем уран, бериллий и группу редкоземельных элементов (церий, диспрозий, иттрий и лантан).

Для выявления экономической эффективности разработанной технологической схемы была проведена предварительная оценка стоимости расходуемых средств на переработку 10 т зольных остатков из расчета 10-циклового технологического процесса и переработки в каждом цикле 1 т зольных остатков. Основные эксплуатационные затраты будут определяться стоимо-

стью расходуемых химических реагентов (серная кислота и водный раствор аммиака) и тепловой энергии на нагревание, упаривание растворов и кристаллизацию соединений алюминия и железа. При использовании в качестве сорбирующего материала органических сорбентов на основе бурых углей с высоким содержанием гуминовых соединений или торфа затраты будут сравнительно небольшими. В табл. 2 приведены результаты расчета эксплуатационных затрат на переработку 10 т зольных остатков.

Из таблицы видно, что затраты расходуемых средств на переработку 1 т зольных остатков будут составлять порядка 210 долл. США. Эти затраты могут быть уменьшены за счет потребления утилизируемой тепловой энергии. Выполненные расчеты по расходу тепловой энергии показали, что для обеспечения указанных расходов необходимо, чтобы около 25 % сжигаемого

бурого угля было направлено на поддержании технологического процесса переработки соответствующих зольных остатков. В этом случае будет рационально испаряющую воду направить в теп-

ловую сеть и этим самым обеспечить экономию тепловой энергии и воды, что приведет к уменьшению фактических затрат до 30 %.

**Таблица 2. Расчет эксплуатационных затрат на переработку 10 т зольных остатков**

Расходуемый реагент и тепловая энергия	Количество	Стоимость единицы, долл. США	Стоимость расходов, долл. США
Серная кислота техническая ГОСТ 2184–77, т	9,9	100	990
Аммиак водный технический ГОСТ 9–92, т	1,25	300	375
Сорбенты из бурого угля или торфа, т	0,1	200	20
Тепловая энергия, Гкал	40	18	720
Всего		2105	
Удельные затраты на единицу зольных остатков, долл. США/т		210,5	

Из данных, приведенных на принципиальной технологической схеме (см. рисунок), видно, что выходной продукцией являются сульфаты алюминия и железа, используемые в качестве смешенного коагулянта, алюмоаммонийные квасцы, железоаммонийные квасцы, сульфат аммония, а также редкие металлы. В табл. 3 приведен расчет стоимости выходной продукции, полученной от переработки 10 т зольных остатков.

Кроме указанной в табл. 3 продукции в процессе выщелачивания соединений металлов образуется твердый остаток, не содержащий радиоактивных и токсичных элементов в объеме, близком к объему переработанных зольных остатков. Из него можно получать материалы строительного назначения, например стеновые шлакоблоки, стоимость которых, согласно имеющимся публикациям, не ниже 50 долл. США/м<sup>3</sup>.

**Таблица 3. Товарная продукция и ее стоимость**

Товарная продукция	Количество	Стоимость единицы, долл. США	Стоимость товарной продукции, долл. США
Сульфат алюминия, т	11,106	Смешанный коагулянт 300	3660
Сульфат железа, т	1,094		
Алюмоаммонийные квасцы, т	1,622	1000	2622
Железоаммонийные квасцы, т	0,1245	1000	124
Сульфат аммония, т	0,968	150	145
Титан, кг	33,0	20	660
Цирконий, кг	9,0	100	900
Церий, кг	8,5	Мишметалл	620
Лантан, кг	3,9	50	
Иттрий, кг	2,4	150	360
Диспрозий, кг	0,5	100	50
Бериллий, кг	0,3	150	45
Уран, кг	1,5	120	180
Всего			9366
Стоимость товарной продукции из единицы зольных остатков, долл. США/т			936,6
В том числе сульфаты алюминия, железа, аммония, долл. США/т			654,8
Редкие металлы, долл. США/т			281,8

Анализ табл. 2 и 3 показывает, что стоимость выходной продукции более чем в 4 раза превышает эксплуатационные затраты на расходуемые материалы и энергию. Это создает благоприятные предпосылки для организации рентабельного производства переработки зольных остатков бурых углей Лельчицкого углепроявления.

Таким образом, показано, что имеются все основания для разработки экономически эффективной безотходной технологии переработки золь-

ных остатков бурых углей Лельчицкого углепроявления с получением реализуемой на внутреннем и внешнем рынках товарной продукции при минимальном воздействии на окружающую среду. Для более полного и детального обоснования экономической эффективности технологии переработки указанных зольных остатков и получения исходных данных для соответствующего проектирования необходимо в дальнейшем провести более глубокие научные исследования и опытно-конструкторские разработки.

### Литература

1. **Борбат, В. Ф.** Сернокислотное извлечение редкоземельных металлов из золы Экибастузского угля / В. Ф. Борбат, Л. Н. Адеева, Ю. Л. Михайлов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2002. – № 2. – С. 23–27.
2. **Концевой, А. А.** Извлечение скандия и иттрия из золошлаковых отходов / А. А. Концевой [и др.] // Журн. прикл. химии. – 1995. – Т. 68. – Вып. 7.
3. **Способ** извлечения редкоземельных и радиоактивных металлов из окисленного технологически упорного сырья : пат. 2167213 РФ, МКИ 7 C22B 59/00, 60/00, 3/08, 7/00 / В. Ф. Борбат, Ю. Л. Михайлов, Л. Н. Адеева, В. А. Мухин – № 20 00101939/02 ; заявл. 26.01.00 ; опубл. 20.07.2001 г. Бюл. № 20.
4. **Сокол, Э. В.** Природа, химический и фазовый состав энергетических зол Челябинских углей / Э. В. Сокол [и др.]. – Новосибирск, 2001.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 2.09.2014 г.

**Г. П. Бровка, И. И. Лиштван, Н. Е. Сосновская, И. Н. Дорожок**

### **ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ ЗОЛЬНЫХ ОСТАТКОВ БУРЫХ УГЛЕЙ СОПУТСТВУЮЩИХ МАКРО- И МИКРОКОМПОНЕНТОВ**

Разработана технологическая схема выделения из золы соединений алюминия и железа в виде сульфатов алюминия и железа или алюмоаммониевых и железоаммониевых квасцов с последующим извлечением редких металлов методом осаждения или сорбции в динамическом режиме (методом хроматографии). Данна предварительная оценка экономической эффективности безотходной технологии переработки зольных остатков бурых углей Лельчицкого углепроявления с получением реализуемой на внутреннем и внешнем рынках товарной продукции при минимальном воздействии на окружающую среду и повышении рентабельности освоении месторождений бурых углей.

**G. P. Brovka, I. I. Lishvan, N. E. Sosnovskaya, I. N. Dorozhok**

### **THE ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITY OF EXTRACTING BROWN COALS FROM ASHES OF ASSOCIATED MACRO- AND MICROCOMPONENTS**

The technological scheme of the ash discharge from the compounds of aluminum and iron in the form of aluminum sulphate or ammonium aluminum and iron and ferric alum, followed by recovery of rare metals by precipitation or adsorption in dynamic mode (by chromatography method) has been developed. The preliminary assessment of the economic efficiency of non-waste technology for the processing of ash lignite coal shows of Lelchits area with obtaining sold on domestic and foreign markets of commodity products with minimal impact on the environment and improving the profitability of the development of brown coal deposits has been given.

**А. Э. Томсон, И. А. Гончарова, Н. Е. Сосновская, Н. В. Иконникова,  
А. А. Арашкова, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева**

## **СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТРАБОТАННЫМ СУБСТРАТОМ ПРОМЫШЛЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБА *PLEUROTUS OSTREATUS***

*Исследована сорбционная активность отработанного субстрата промышленного культивирования гриба вешенка по отношению к наиболее распространенным тяжелым металлам – поллютантам Беларуси. Выявлено, что исследованные субстраты обладают высокой сорбционной активностью и селективностью к ионам свинца и кадмия по сравнению с металлами, необходимыми для нормальной жизнедеятельности живых организмов в микроколичествах, и могут служить сырьем для производства функциональных добавок в корма.*

В настоящее время в Беларуси происходит интенсивное развитие промышленного и любительского грибоводства. Одним из наиболее популярных культивируемых съедобных грибов является ксилотрофный базидиальный гриб вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*), расщепляющий древесину по типу белой гнили. Вешенка обладает не только хорошими питательными качествами, но и лечебными свойствами [3, 10]. Полисахариды гриба укрепляют иммунную систему, тормозят развитие злокачественных опухолей, способствуют выведению из организма холестерина, снижая опасность возникновения атеросклероза [1].

В искусственных условиях вешенка растет практически на любом субстрате, содержащем целлюлозу и лигнин (опилки, древесная стружка, кора, бумага и т. п.), но чаще всего в качестве субстрата используют отходы сельскохозяйственного производства (солома злаковых культур, початки и стебли кукурузы, отходы сахарного тростника, лузга подсолнечника) [12]. На каждую тонну выращенных грибов приходится не менее 2–3 т отработанного субстрата, утилизация которого представляет определенную проблему [9]. Ряд исследователей предлагают использовать отработанный субстрат, обогащенный после завершения цикла культивирования грибов рода *Pleurotus* белком и другими биологически активными соединениями, как питательную добавку в корм сельскохозяйственным животным [4, 8, 11].

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме экологической безопасности сельскохозяйственной продукции. Интенсификация сельского хозяйства способствует загрязнению угодий токсичными соединениями, в первую очередь тяжелыми металлами, и накоплению их в кормах. Вредные вещества, поступающие в организм животных, не только создают опасность для их здоровья, но и накапливаются в продуктах животноводства, которые могут стать для потребителей источниками острых

и хронических токсикозов, вызывать аллергические реакции, нарушать обмен веществ. Наиболее эффективным методом очистки организма от токсикантов является эфферентная терапия с использованием энтеросорбентов [7].

Ранее проведенные исследования показали, что глубинный мицелий ксилотрофных базидиомицетов является перспективным сырьем для получения сорбирующих субстанций, способных связывать и выводить из организма избыточное количество ионов тяжелых металлов [6]. Было сделано предположение, что обогащенный поверхностным мицелием вешенки растительный субстрат, остающийся в качестве отхода после получения плодовых тел гриба в промышленных условиях, также может обладать аналогичными свойствами.

Цель данного исследования – оценка способности твердофазной культуры вешенки на разных стадиях промышленного культивирования гриба связывать ионы тяжелых металлов свинца, кадмия меди, цинка никеля – наиболее распространенных поллютантов растительных кормов.

В работе использовали солому ржи, ино-кулированную зерновой культурой *Pleurotus ostreatus*-35, культивируемую в полиэтиленовых пакетах в грибоводческом цехе в ОАО «Александрийское». Грибные блоки твердофазного культивирования гриба до начала плодоношения и после съема плодовых тел первой–третьей волн плодоношения высушивали при комнатной температуре и постоянной вентиляции, измельчали и использовали для проведения анализов.

Сорбцию ионов тяжелых металлов субстратом оценивали по уменьшению концентрации соответствующих ионов после контакта сорбентов с растворами солей  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ . Содержание ионов металлов в растворах до и после сорбции оценивали методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе Сатурн-3П-1

(Россия). Условия сорбции: исходная концентрация растворов – 0,25 мМ, объем исходного раствора – 50 мл, навеска воздушно-сухого сорбента 1,0 г, температура 18–20 °С, время сорбции – 1,5 ч.

Из экспериментальных данных рассчитывали величину сорбции  $S$  (мг/г):

$$S = (C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}) \cdot V / m,$$

где  $C_{\text{исх}}$  – исходная концентрация ионов металла в растворе, мг/мл;  $C_{\text{кон}}$  – конечная концентрация ионов металла в растворе, мг/мл;  $V$  – объем раствора, мл;  $m$  – масса сорбента, г (в пересчете на сухое вещество).

Зависимость величины относительной сорбции ( $S_{\text{отн.}} \%$ ) от вида субстрата рассчитывали по формуле

$$S_{\text{отн.}} = S_{\text{суб}} / S_{\text{миц}} \cdot 100,$$

где  $S_{\text{суб}}$  – величина сорбции субстрата, мг/г;  $S_{\text{миц}}$  – величина сорбции грибного мицелия, мг/г.

Коэффициент распределения  $Kd$  (мл/г) в системе сорбент-сорбат определяли по сорбции в индивидуальных растворах тяжелых металлов и рассчитывали по формуле:

$$Kd = S / C_{\text{кон.}}$$

где  $S$  – величина сорбции, мг/г;  $C_{\text{кон.}}$  – конечная концентрация ионов металла в растворе, мг/мл.

При промышленном культивировании вешенки по интенсивной технологии питательный субстрат, которым чаще всего служит солома, стерилизуют горячей водой или паром, смешивают после охлаждения с посевным мицелием и набивают в пластиковые мешки, где грибница постепенно пронизывает всю растительную массу, образуя монолитный блок. Затем грибные блоки переносят в помещение, где созданы условия для формирования плодовых тел. После первичного сбора урожая ждут появления второй волны плодовых тел, а иногда – и третьей.

Оценка сорбционной активности чистого мицелия, покрывавшего поверхность грибного блока после месяца культивирования, и субстрата различной степени деградации без видимой грибной биомассы показала, что распаренная ржаная солома способна связывать ионы тяжелых металлов в очень незначительных количествах, но уже через 2 недели культивирования сорбционная емкость субстрата по отношению ко всем металлам резко возросла, а в дальнейшем продолжала увеличиваться, но более плавно (табл. 1).

**Таблица 1. Сорбционная активность мицелия вешенки и соломы, использованной в качестве субстрата для выращивания плодовых тел гриба, по отношению к ионам тяжелых металлов**

Вариант	$S$ , мг/г				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Грибной мицелий	13,12	3,86	2,12	1,91	0,42
Ржаная солома	1,25	0,79	0,36	0,49	0,09
Субстрат (2 недели культивирования)	4,42	2,16	0,97	0,97	0,25
Субстрат (4 недели культивирования)	4,94	2,64	1,40	1,24	0,28
Субстрат первой волны плодоношения	5,02	2,70	1,47	1,28	0,31
Субстрат второй волны плодоношения	5,14	2,78	1,55	1,33	0,34
Субстрат третьей волны плодоношения	8,31	3,51	1,94	1,37	0,39

Отработанный субстрат культивирования вешенки в отличие от нативной соломы обладал высокой избирательностью связывания особо опасных токсикантов свинца и кадмия, его сорбционная активность уменьшалась в ряду  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$ .

Коэффициент распределения в системе ионы свинца – субстрат составил 1177 мл/г, что в 5,2 и 8,6 выше, чем соответственно при связывании ионов меди и цинка, соли которых добавляют в корма при алиментарном дефиците данных микроэлементов (табл. 2).

**Таблица 2. Коэффициенты распределения в системе раствор ионов тяжелых металлов – отработанный субстрат культивирования вешенки**

Сорбент	$Kd$ , мл /г				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Грибной мицелий	3119,0	417,3	227,5	185,4	164,7
Ржаная солома	160,4	144,2	54,5	94,2	63,4
Субстрат (2 недели культивирования)	337,9	258,7	100,2	104,3	72,5
Субстрат (4 недели культивирования)	349,2	308,4	165,7	122,5	96,8
Субстрат первой волны плодоношения	411,5	344,1	177,1	131,8	112,7
Субстрат второй волны плодоношения	877,1	371,9	180,2	132,6	116,3
Субстрат третьей волны плодоношения	1177,1	390,9	224,5	136,4	124,6

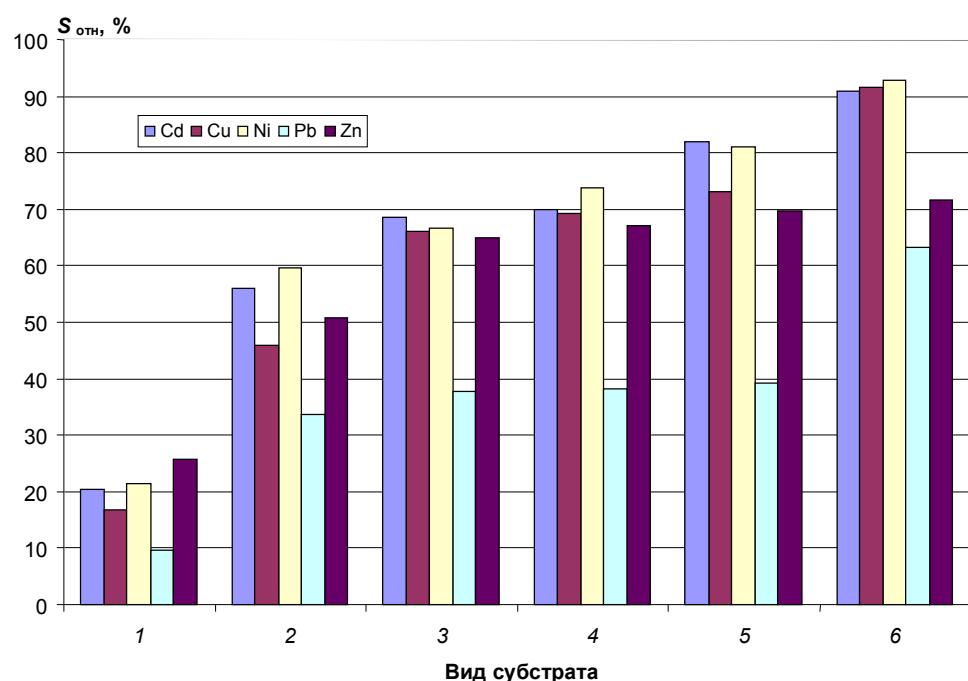
Высокое сродство к ионам свинца и кадмия, по-видимому, является спецификой данного субстрата, тогда как положение ионов меди, цинка и никеля в ряду селективности соответствует аналогичному ряду для природных органических сорбентов [2, 5].

Наибольшей сорбционной активностью по отношению ко всем исследуемым ионам тяжелых металлов обладал субстрат вешенки после третьей волны плодоношения. При этом солома утратила цельность за счет освобождения целлюлозных волокон и потемнела, возможно, из-за гумификации не утилизированного грибом лигнина.

Сорбционная емкость субстрата после третьей волны плодоношения приближалась к данному параметру грибного мицелия, относитель-

ная сорбция ионов кадмия, меди и никеля составила 90–93 %. Однако по активности связывания ионов свинца грибной мицелий значительно пре- восходил субстрат, после второй волны плодоношения относительная сорбция была менее 40 % и лишь после третьей волны она превысила 60 % (см. рисунок).

Учитывая тот факт, что грибная клеточная стенка обладает высокоразвитой микрокапиллярной структурой, обусловливающей высокий уровень связывания ионов свинца как в результате химического взаимодействия, так и за счет физической адсорбции, можно предположить, что при высоком уровне мацерации соломы про- исходит значительное улучшение капиллярных свойств и доступности функциональных групп для взаимодействия.



**Зависимость относительной сорбции от вида субстрата:** 1 – ржаная солома;  
2 – субстрат после 2-х недель культивирования; 3 – субстрат после 4-х недель культивирования;  
4 – субстрат после первой волны плодоношения; 5 – субстрат после второй волны плодоношения;  
6 – субстрат после третьей волны плодоношения

Таким образом, любая часть грибного блока – отхода культивирования вешенки является ценной сорбирующей субстанцией, несмотря на то что мицелий гриба распределяется по соломе достаточно неравномерно; наибольшее его количество, как правило, находится сверху.

При скармливании данного субстрата сельскохозяйственным животным будет происходить очистка организма от наиболее опасных для здоровья тяжелых металлов свинца и кадмия, поддерживая содержание микроэлементов в пределах физиологической нормы.

## Литература

1. Алексеенко, О. М. Пищевая, лечебная и экологическая ценность грибов *Pleurotus ostreatus* / О. М. Алексеенко, М. А. Полищко, А. И. Винников // Вестник Днепропетровского ун-та. Биология. Экология. – 2010. – Вып. 18. Т. 1. – С. 3–9.
2. Вирясов, Г. П. Избирательная сорбция катионов металлов сапропелями / Г. П. Вирясов, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова [и др.] // Природопользование. – Минск, 1999. – Вып. 5. – С. 102–105.

3. Володина, Е. П. Питательная ценность плодовых тел и субстратов при интенсивном культивировании вешенки обыкновенной / Е. П. Володина : дис. ... канд. биол. наук. – Киев, 1991.
4. Голубев, О. М. Отходы промышленного выращивания вешенки устричной / О. М. Голубев // Комбикорма. – 2004. № 4. – С.42.
5. Рогач, Л. М. Исследование влияния катионного состава на обменные и гидрофильные свойства торфа / Л. М. Рогач : дис. ... канд. хим. наук. – Минск, 1975.
6. Соколова, Т. В. Оценка сорбционных свойств мицелия ксилотрофных базидиомицетов по отношению к ионам тяжелых металлов / Т. В. Соколова [и др.] // Природопользование. – Минск, 2003. – Вып. 9. – С. 132–134.
7. Тремасов, М. Я. Научные основы разработки фармакологических средств профилактики и лечения микотоксикозов животных / М. Я. Тремасов // Тез. докл. V Всерос. конф. 14–17 мая 1996. – М., 1996. – С. 329.
8. Akyüz M., Kirbağ S. Effect of various agro-residues on nutritive value of Pleurotus eryngii (DC. ex Fr.) Quel. var. ferulaceae Lanzi // Journal of Agricultural Sciences. – 2010. – Vol. 16. – P. 83–88.
9. Biological efficiency and nutritional contents of Pleurotus florida (Mont.) Singer cultivated on different agro-wastes / S. A. Ahmed [et al.] // Nature and Science. – 2009. – Vol. 7. № 1. – P. 1545–1740.
10. Cultivation techniques and medicinal properties of Pleurotus spp. / A. Gregori [et al.] // Food Technol. Biotechnol. – 2007. – Vol. 45. № 3. – P. 236–247.
11. Jafarpour M. High protein complementation with high fiber substrates for oyster mushroom cultures // African Journal of Biotechnology. 2012. Vol. 11, N 14. P. 3284–3289.
12. The nutritional value of Pleurotus ostreatus (Jacq.:Fr.) Kumm cultivated on different lignocellulosic agro-wastes / S. S. Patil [et al.] // Innovative Romanian Food Biotechnology. – 2010. Vol. 7. – P. 66–76.

**Институт проблем использования НАН Беларуси,  
Институт микробиологии НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 5.08.2014 г.

**А. Э. Томсон, И. А. Гончарова, Н. Е. Сосновская, Н. В. Иконникова,  
А. А. Арашкова, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева**

### **СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТРАБОТАННЫМ СУБСТРАТОМ ПРОМЫШЛЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБА PLEUROTUS OSTREATUS**

Проведена оценка сорбционной активности и селективности субстрата промышленного культивирования гриба вешенка, представляющего собой делигнифицированную солому, обросшую грибным мицелием и являющуюся отходом производства, по отношению к тяжелым металлам. Показано, что относительное сродство ионов металлов к субстрату уменьшается в ряду  $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$ .

Установлено, что величина сорбции в статических условиях и положение ионов в ряду избирательности определяется природой сорбируемого иона, а также спецификой его взаимодействия с активными сорбционными центрами субстрата. Способность субстрата к избирательному поглощению ионов свинца и кадмия позволяет рекомендовать его в качестве сырья для получения кормовых добавок.

**A. E. Thomson, I. A. Goncharova, N. E. Sosnovskaja, N. V. Ikonnikova,  
A. A. Arashkova, T. V. Sokolova, V. S. Pehtereva**

### **BINDING OF HEAVY METAL IONS BY SPENT PLEUROTUS OSTREATUS MUSHROOM SUBSTRATE AFTER INDUSTRIAL CULTIVATION**

The estimation of sorption activity and selectivity of spent substrate after oyster mushroom industrial cultivation, which is a delignified straw, covered with fungal mycelium, and is a waste of production, with respect to heavy metals was held. It was shown that the relative affinity of heavy metal ions towards the substrate decreases in the order  $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$ .

It was established that the sorption under static conditions and the position of the ion in the order of selectivity depends on the ion nature, as well as the specificity of its interaction with the active sorption sites of the substrate. Due to the ability of the substrate to selective sorption of lead and cadmium ions it can be recommended as a raw material for feed additives.

**А. Э. Томсон, Ю. Ю. Навоша**

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТВОРОВ ГУМАТОВ

Применение метода нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием ИК-спектрофотометра с фурье-преобразованием и ИК-микроскопа с НПВО объективом позволило получить ИК-спектры нейтральных и щелочных растворов гуминовых препаратов на основе торфа (оксигуматов, оксидатов). Впервые получены ИК-спектры образцов оксигуматов в нативном состоянии в кислой среде. Применение метода НПВО в описанной конфигурации позволяет использовать его для контроля содержания гуминовых веществ в растворах.

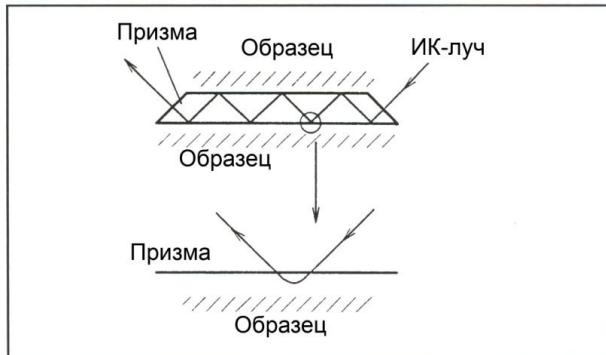
Инфракрасная спектроскопия относится к группе так называемых неразрушающих методов исследований, т. е. методов, которые не требуют никаких предварительных химических воздействий на исследуемые объекты. Этот метод нашел широкое применение при исследовании природных каустобиолитов – торфов, углей, сапропелей и их компонентов (фульвокислоты, битумы, легкогидролизуемые вещества, гуминовые кислоты, трудногидролизуемые соединения и др.). Он позволяет определить важнейшие атомные группы и типы связей, идентифицировать отдельные индивидуальные соединения, количественно оценивать их содержание, исследовать механизмы образования органоминеральных комплексов и т. п.

Перечисленные объекты, за исключением битумов, которые могут исследоваться как в виде растворов в подходящих органических растворителях, так и в виде пленок, образованных путем расплавления небольшого количества вещества на соляной пластинке или выпариванием их растворов на подложке, анализируются в твердой фазе. При этом, как правило, используется KBr-техника – запрессовка в таблетки из бромистого калия небольшого количества растертого образца (~ 1 %) [1]. Таблетки получаются прозрачными, дают небольшое рассеяние ИК-излучения, а KBr выполняет функцию иммерсионной среды. С использованием этой методики могут быть получены весьма качественные ИК-спектры веществ в твердой фазе.

Однако исследование растворов гуминовых веществ в щелочной среде – гуматов металлов, в водной среде – растворов фульвокислот прямым ИК-методом практически невозможно вследствие очень сильного поглощения ИК-излучения водной средой (молекулами воды).

Известно, что регистрация ИК-спектров таких объектов возможна с использованием метода нарушенного полного внутреннего отражения [2]. Этот вид отражательной спектроскопии осуществляется в том случае, когда излучение падает на образец из оптически более плотной среды ( $n_{\text{ср}} > n_{\text{обр}}$ , где  $n_{\text{ср}}$  и  $n_{\text{обр}}$  – показатели пре-

ломления среды и образца соответственно) под углом больше критического, т. е. в условиях, когда должно было бы иметь место обычное полное внутренне отражение. В этом случае часть падающего излучения проникает в образец и там поглощается в характеристических для образца участках длин волн. В результате этого отражение является не полным, а нарушенным полным внутренним отражением (рис. 1).



**Рис.1. Схема нарушенного полного внутреннего отражения**

Для техники НПВО наиболее часто используются следующие высокопреломляющие кристаллы: бромидиодид таллия (KRS-5), хлорид серебра (AgCl), селенид цинка (ZnSe), германий (Ge). Для исследования растворов гуматов наиболее пригоден германий, который может использоваться как в кислых, так и в щелочных средах, за исключением концентрированной серной кислоты.

Изучение возможности применения метода НПВО для исследования гуматов было выполнено на ИК-спектрофотометре с фурье-преобразованием IRPrestige-21. При этом был использован ИК-микроскоп AIM-8800 с НПВО объективом ATR-8800M (рис. 2) [3]. Применение такой конфигурации предоставляет ряд преимуществ. Во-первых, метод ИК-спектроскопии с фурье-преобразованием обеспечивает энергетический

выигрыш за счет большого входного отверстия для луча света, который попадает на детектор (выигрыш Жакино); во-вторых, в обычных спектрометрах регистрируется каждый интервал по отдельности, в то время как в фурье-спектрометрах время регистрации каждого диапазона равно времени регистрации всего спектра. Его величина может также достигать сотен раз (выигрыш Фелджетта). Оба фактора дают выигрыш в регистрируемой энергии в четыре порядка. Применение же НПВО объектива микроскопа обеспечивает высокое отношение сигнал/шум благодаря высокочувствительному охлаждаемому жидким азотом МСТ детектору.

Для регистрации ИК-спектров растворов гуматов не требовалось подготовки образца: предметное стеклышко с каплей раствора поднималось автоматическим предметным столиком до касания поверхности раствора с кристаллом призмы. Вследствие поверхностного натяжения капля исследуемого раствора полностью обволакивает призму, что всегда обеспечивает воспроизводимость площади контакта призмы с исследуемым раствором.

Для исследования был выбран раствор препарата оксигумата в слабощелочной среде с

концентрацией гуминовых веществ 8–9 %. Из-за высокого содержания воды в препарате непосредственно спектр гуматов не может быть получен вследствие сильного поглощения ИК-излучения водой. Поэтому предварительно регистрировался спектр НПВО воды (рис. 3, б) и спектр НПВО раствора оксигумата (рис. 3, а).

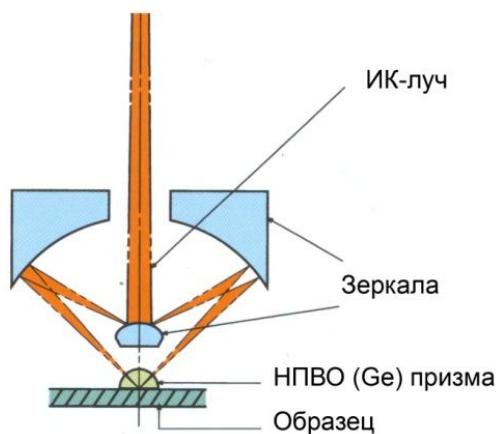


Рис. 2. Принципиальная схема  
НПВО объектива ATR-8800M

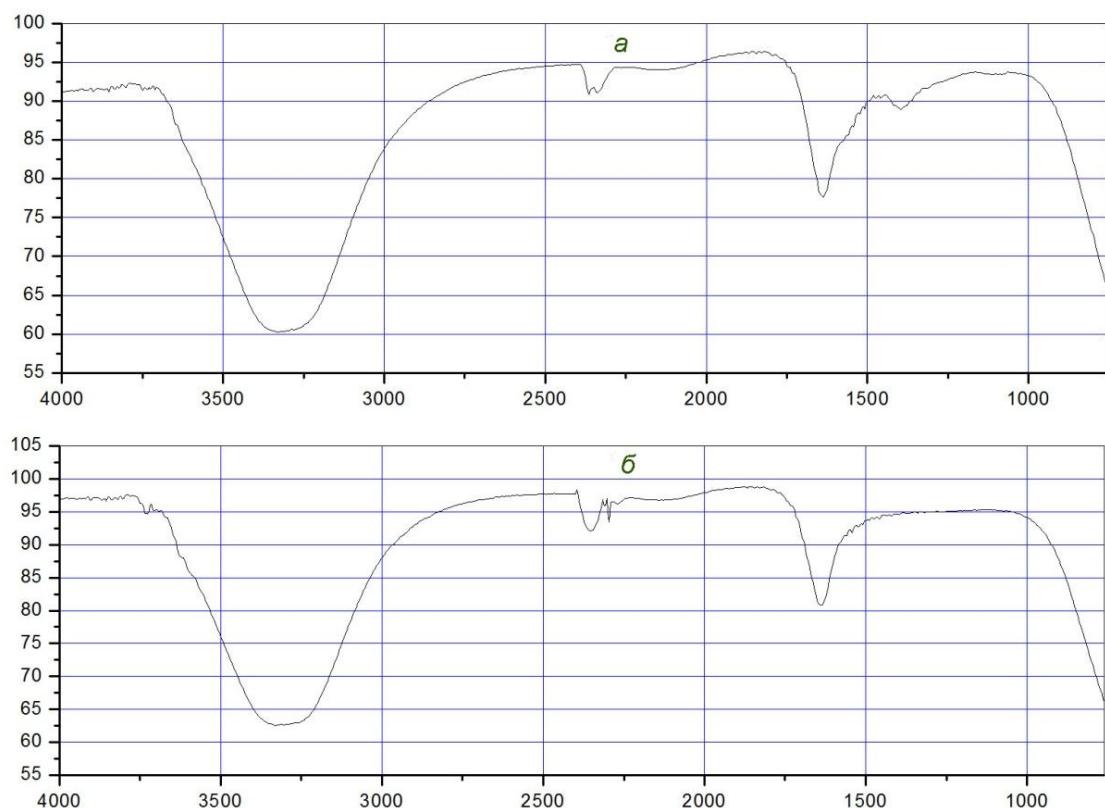


Рис. 3. ИК-спектры НПВО раствора оксигумата (а) и воды (б)  
( $n_{\text{скан}} = 500$ , разрешение 8 см<sup>-1</sup>)

В результате вычитания из спектра раствора оксигуматов спектра воды (после НПВО коррекции – коррекция спектра по интенсивности вследствие различной глубины проникновения ИК-излучения в образец при разных длинах волн и атмосферной коррекции – коррекция на поглощение  $\text{CO}_2$ , паров  $\text{H}_2\text{O}$ ) был получен спектр самих оксигуматов (рис. 4).

На спектре отмечается наличие полос поглощения водородносвязанных ОН-групп ( $3400 \text{ cm}^{-1}$ ), валентных колебаний  $\text{CH}_2-$ ,  $\text{CH}_3$ -групп в области  $2900 \text{ cm}^{-1}$ , валентных колебаний ОН-

групп ( $1632 \text{ cm}^{-1}$ ) и сильных полос ассиметричных ( $1588 \text{ cm}^{-1}$ ) и симметричных ( $1388 \text{ cm}^{-1}$ ) колебаний С–О-связей карбоксилат ионов. Таким образом, применение метода НПВО позволяет получить разрешенные, с хорошим соотношением сигнал/шум ИК-спектры гуматов в нативном состоянии.

На рис. 5 приведен спектр ИК-поглощения образца коммерческого препарата «Оксидат торфа» (заявленная производителем концентрация 4 %), полученный по описанной выше методике.

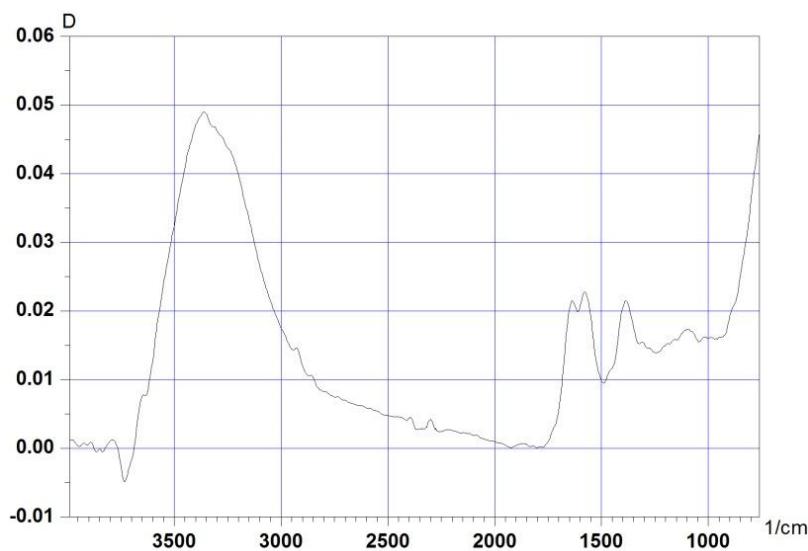


Рис. 4. Рассчитанный спектр ИК-поглощения оксигумата торфа,  
( $n_{\text{скан}} = 500$ , разрешение  $8 \text{ cm}^{-1}$ )

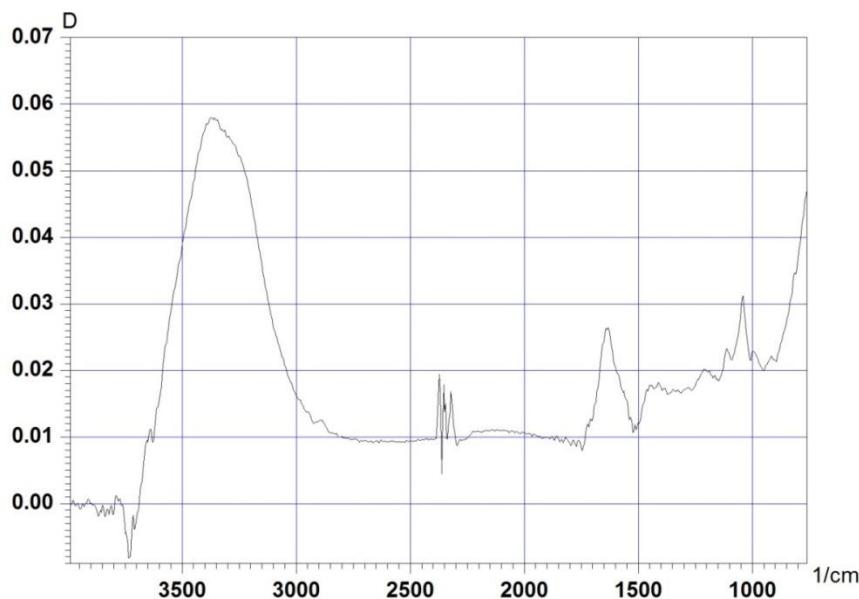
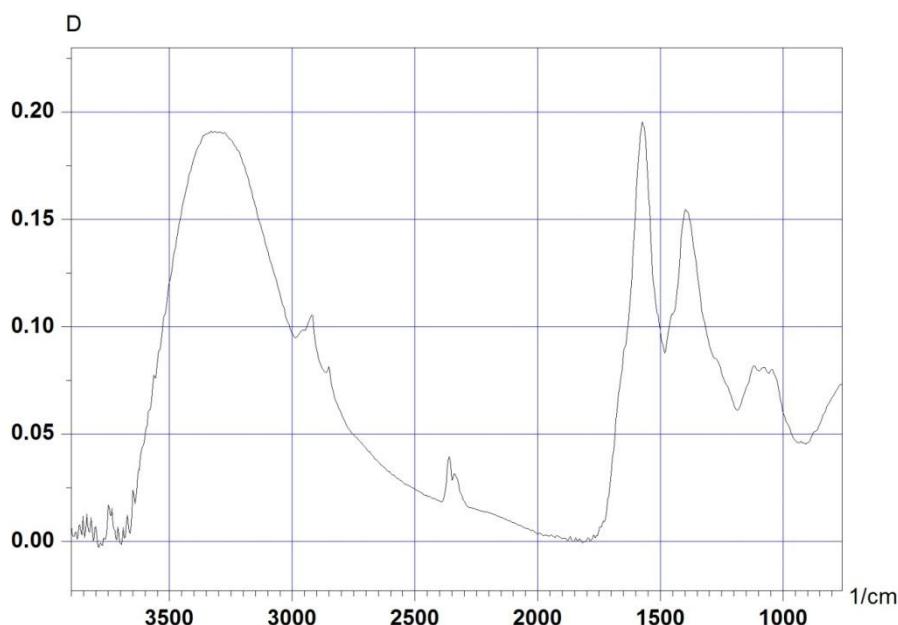


Рис. 5. ИК-спектр коммерческого образца оксидата торфа  
( $n_{\text{скан}} = 500$ , разрешение  $8 \text{ cm}^{-1}$ )

На спектре оксидата торфа не наблюдается сильных полос поглощения асимметричных и симметричных колебаний карбоксилат ионов. Очевидно, вследствие реакции среды образца, близкой к нейтральной, карбоксильные группы не полностью замещены – на фоне сильной полосы валентных колебаний  $\text{H}_2\text{O}$  ( $1640 \text{ cm}^{-1}$ ) наблюдается ступенька полосы поглощения свободных карбоксильных групп ( $1712 \text{ cm}^{-1}$ ).

С использованием НПВО объектива могут регистрироваться ИК-спектры гуматов и в твер-

дом состоянии – пленок гуматов, полученных после обезвоживания растворов гуматов. На рис. 6 представлен спектр твердой пленки препарата «Оксигумат», полученной высушиванием капли раствора на предметном стеклышке. Спектр такого образца с использованием КВг техники не может быть получен вследствие трудностей с измельчением высоковязкой пленки гуматов в щелочной среде. Представленный спектр получен непосредственно при контакте призмы НПВО объектива с поверхностью пленки.



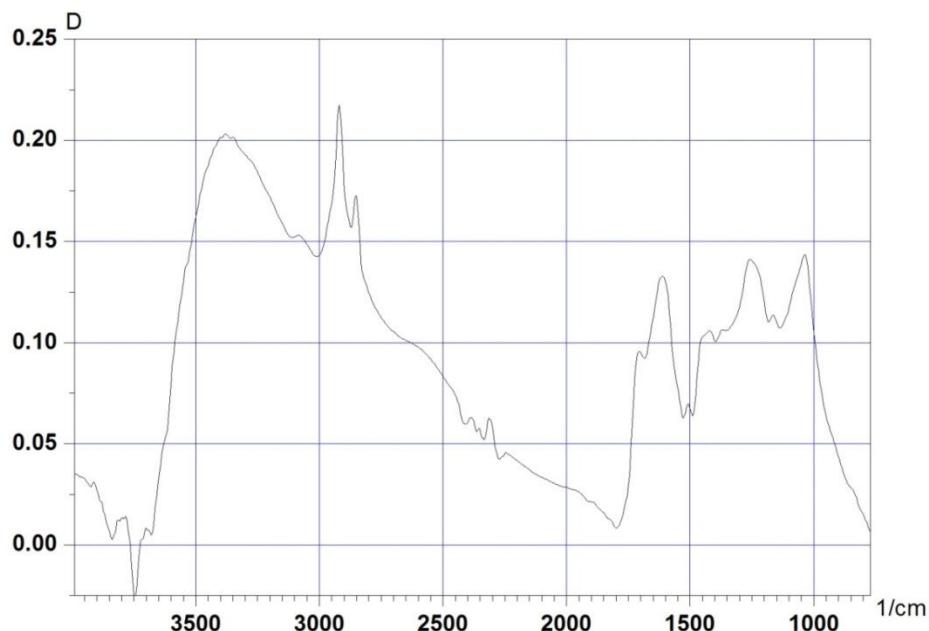
**Рис. 6. ИК-спектр обезвоженной пленки оксигумата торфа**  
( $n_{\text{скан}} = 50$ , разрешение  $8 \text{ cm}^{-1}$ )

Как видно из спектра, обезвоживание увеличивает интенсивность полос асимметричных ( $1588 \text{ cm}^{-1}$ ) и симметричных ( $1388 \text{ cm}^{-1}$ ) колебаний С–О–связей карбоксилат ионов, т. е. при обезвоживании происходит дополнительное образование карбоксилат ионов, возможно из-за увеличения концентрации катионов  $\text{Na}$  в растворе в процессе сушки.

Приведенные спектры были получены в нейтральной или щелочной среде. Попытка получить НПВО спектры в кислой среде (после подкисления растворов) не увенчалась успехом – интенсивность поглощения гуминовых соединений на фоне поглощения воды резко снизилась даже в осадке после центрифугирования, что объясняется окружением коагулированных гуминовых соединений пленкой воды.

Спектр коагулированных гуминовых веществ в кислой среде может быть получен только после удаления избыточного количества воды. Нами разработана методика подго-

товки таких образцов для регистрации их ИК-спектров. Отфильтрованный или отцентрифужированный кислый осадок помещается между несколькими слоями фильтрованной бумаги под пресс. После приложения давления ( $P \sim (2-3) \cdot 10^6 \text{ Па}$ ,  $T \sim 3-5 \text{ с}$ ) формируется плотная, практически обезвоженная, эластичная таблетка образца гуматов в кислой среде. С такой формой образца может быть обеспечен хороший контакт германиевой призмы НПВО объектива, позволяющий получить НПВО спектр гуминовых веществ в кислой среде в нативном состоянии – молекулярная структура гуминовых веществ не переходит в необратимое конформационное состояние, как при обычном высушивании при  $105^\circ\text{C}$ . На рис. 7 приведен спектр препарата оксигумата торфа в кислой среде. Как следует из рисунка, по вышеописанной методике возможно получение хорошо разрешенных спектров гуминовых соединений в кислой среде.



**Рис. 7. ИК-спектр оксигуматов в кислой среде.**  
( $n_{\text{скан}} = 50$ , разрешение  $8 \text{ cm}^{-1}$ )

Таким образом, метод НПВО с использованием НПВО объектива может быть успешно использован для исследования растворов гуминовых веществ в нативном состоянии как в щелочной, так и в кислой среде.

Впервые получены ИК-спектры поглощения растворов и обезвоженных гуматов торфа в щелочной и кислой средах, получение ИК-спектров которых по стандартной методике невозможно.

Выполнение закона Бугера–Ламберта–Беера для спектров НПВО растворов гуматов, позволяет использовать этот метод для контроля содержания гуминовых веществ в их растворах.

Разработанная методика впервые открывает возможности исследования строения гуминовых веществ и их надмолекулярных образований в водных средах в широком диапазоне рН среды растворов, исключая процессы трансфор-

мации их структуры в процессе сушки, а также еще более существенного изменения их молекуллярной организации в процессе получения запрессовок с KBr, традиционно используемом в технике ИК-спектрофотометрии твердых топлив. Разработанная методика позволяет более точно оценить механизмы реакций, протекающих в процессе взаимодействия гуминовых веществ твердых топлив с различного рода реагентами, например в технологиях получения широкого спектра препаратов гуминовой природы, более подробно изучить протекание ионообменных процессов при очистке сточных вод от ионов тяжелых и цветных металлов, закономерности трансформации структуры гуминовых веществ на всех стадиях метаморфизма твердых топлив и в ряде других областей.

### Литература

1. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию / А. Кросс. – М., 1961.
2. Прикладная инфракрасная спектроскопия / Под ред. Д. Кендалла. – М., 1979.
3. FTIR Series Accessories. Shimadzu Corporation. – Japan.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 26.08.2014

**А. Э. Томсон, Ю. Ю. Навоша****ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО  
ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТВОРОВ ГУМАТОВ**

Метод НПВО с использованием ИК-спектрометра с фурье-преобразованием и ИК-микроскопа с НПВО объективом применен для исследования растворов гуминовых препаратов на основе торфа (оксигуматов, оксидатов) при низких и высоких значениях pH среды. В качестве материала призмы использовался германий. Высокая чувствительность охлаждаемого жидким азотом ИК-детектора обеспечивает получение качественных спектров гуминовых соединений в водных растворах. Разработанная методика впервые открывает возможности исследования строения гуминовых веществ и их надмолекулярных образований в водных средах в широком диапазоне pH среды растворов, исключая при этом процессы трансформации их структуры в процессе сушки и еще более существенного изменения их молекулярной организации в процессе получения запрессовок с KBr, традиционно используемом в технике ИК-спектрофотометрии твердых топлив. Выполнение закона Бугера–Ламберта–Беера для спектров НПВО растворов гуматов, позволяет использовать этот метод для контроля содержания гуминовых веществ в их растворах.

**A. E. Tomson, Yu. Yu. Navosha****THE APPLICATION OF THE METHOD OF THE TOTAL BROKEN INTERNAL  
REFLECTION FOR THE EXAMINATION OF HUMATE SOLUTIONS**

ATR method with the use of the IR-spectrophotometer with Fourier transformation and the IR-microscope with ATR an objective is applied for examination of humic solutions preparations on the basis of peat at low and high values pH mediums. As a prism material germanium was used. High sensitivity of the IR-detector cooled by liquid nitrogen provides reception of qualitative spectrums humic formations in water solutions. The developed procedure uncloses for the first time possibilities of examination of a structure humic substances and them molecular formations in water mediums in a wide gamut pH mediums of solutions, excluding thus processes of transformation of their structure in the course of drying and even more essential change of their molecular organization in the course of reception запрессовок with KBr, traditionally used in technician IR-spektrophotometry of firm fuel. Performance of the law of Bugera–Lamberta–Beera for spectrums ATR of solutions humate, allows to use this method for content control humicsubstances in their solutions.

**Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова**

## КОАГУЛЯЦИЯ ГУМАТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТОРФА ВОДНЫМ АММИАКОМ

*Особенностью фракции гуминовых кислот (ГК), извлекаемой из низинного торфа водным аммиаком, по сравнению с ГК, извлекаемыми гидроксидом натрия, является в 1,5 раза более высокая величина порога коагуляции. Новыми данными подтверждена непроницаемость надмолекулярных структур ГК, находящихся в воздушно-сухом торфе, для молекул воды и растворенных в ней ионов минеральных кислот и свободная их проницаемость в надмолекулярные структуры воздушно-сухих изолированных препаратов ГК.*

Гуматы аммония применяются как в составе торфогуминовых удобрений, так и в виде растворов в качестве красителя, преобразователя ржавчины, биологически активных веществ и т. п. Гуматы аммония широко распространены в почвах и природных водах. Выход гуматов аммония из торфа при экстракции водным аммиаком на 20–30 % ниже, чем при экстракции гидроксидом натрия, т. е. они представляют собой лишь некоторую фракцию ГК [5, 6, 16]. Свойства гуматов аммония изучены в меньшей степени по сравнению со свойствами гуматов натрия, в частности, слабо изучены порог коагуляции, вязкость, поверхностное напряжение, содержание гидролизуемых веществ, влияние кислотного гидролиза торфа и ГК на их свойства.

В разбавленных щелочных растворах гуматы аммония и других одновалентных катионов (лития, натрия, калия) являются истинными (молекулярными), так как они находятся в молекулярно-дисперсной форме и не образуют агрегатов с поверхностью раздела фаз [1, 7, 8, 12–15, 18]. Процессы коагуляции растворов ГК широко распространены в почвах, торфяных залежах, природных водах и технологических процессах при выделении гуминовых веществ (ГВ) из сырья. Знания закономерностей коагуляции растворов гуматов необходимы при разработке структурообразователей почв, коагулянтов для очистки технологических вод от тяжелых металлов и глинистых частиц, гуминовых добавок к цементным растворам и т. д.

Целью данной работы является получение новых знаний о величине порога коагуляции ГК, извлеченных водным аммиаком из торфа низинного и верхового типов, и о влиянии кислотного гидролиза на их коагуляцию.

Препараты ГК извлекали из наиболее распространенных видов торфа: низинного тростниково-осокового со степенью разложения ( $R$ ) 35 %, зольностью ( $A$ ) 11,3 %, pH в KCl 5,2 из месторождения Гало-Ковалевское и верхового соснovo-пушкицевого ( $R = 50 \%$ ,  $A = 3,3 \%$ , pH в KCl 3,3) из месторождения Радемье. Выделение ГК осуществляли из фрезерного торфа, высушеннего до воздушно-сухого состояния в лабораторных

условиях, измельченного и просеянного через сито с размером ячеек 1 мм.

Экстракцию ГВ осуществляли 2 %-ным водным аммиаком при температуре 96–98 °C на кипящей водяной бане в течение 2 ч при модуле 1:10 [5]. После извлечения из торфа ГВ водным аммиаком проводили дополнительную экстракцию 2 %-ным раствором NaOH при тех же условиях, чтобы извлечь остаток ГК, не растворившихся в водном аммиаке. Для экстракции использовали торф исходный и остаток торфа после гидролиза 5 %-ной серной кислотой в течение 3 ч при температуре 96–98 °C и модуле 1:10. Из щелочных экстрактов ГК осаждали подкислением 10 %-ной соляной кислотой до pH 1. Осадки центрифугировали, вымораживали при минус 4–5 °C, отмывали от избытка ионов хлора и сушили при температуре 50 °C. Кислотный гидролиз выделенных препаратов ГК проводили 2 %-ной соляной кислотой при 96–98 °C в течение 3 ч при модуле 1:100. Содержание гидролизуемых веществ в исследуемых образцах ГК представлено ранее [4]. Выбранные концентрации реагентов и режимы получения препаратов в лаборатории соответствуют реагентам и технологическим режимам получения гуматов аммония в производственных условиях.

Коагуляцию 0,02 %-ных растворов ГК в 0,1 M NaOH выполняли по методике, изложенной в [3]. Результаты исследований представлены в таблице.

Препараты, выделенные водным аммиаком без кислотного гидролиза (вариант 1), имеют наиболее высокие пороги коагуляции: 46 и 18 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л соответственно для ГК низинного и верхового торфа. Для ГК, выделенных из торфа низинного типа, столь высокая величина порога коагуляции хлористым барием не была известна, так как обычно порог коагуляции ГК, выделенных из торфа едкими и углекислыми щелочами или щелочным раствором пирофосфатом натрия, не превышает 32 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л раствора [1, 2, 10–13, 17]. Высокая величина порога коагуляции ГК, выделенных водным аммиаком, указывает на значительные отличия молекулярной структуры этой фракции от ГК, выделяемых едким натром.

### Пороги коагуляции ГК, выделенных водным раствором аммиака

Вариант	Условия выделения препарата ГК	Порог коагуляции ГК, мг-экв BaCl <sub>2</sub> /л	
		низинный торф	верховой торф
1	2 %-ный раствор NH <sub>4</sub> OH, 2 ч при температуре 96–98 °C	46	18
2	2 %-ный раствор NH <sub>4</sub> OH 2 ч при температуре 96–98 °C, затем гидролиз ГК 2 %-ной HCl 2 ч при температуре 96–98 °C	16	10
3	2 %-ный раствор NH <sub>4</sub> OH 2 ч при температуре 96–98 °C после предварительного гидролиза торфа 5 %-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 ч при температуре 96–98 °C	42	15
4	2 %-ный раствор NH <sub>4</sub> OH 2 ч при температуре 96–98 °C после предварительного гидролиза торфа 5 %-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 ч при температуре 96–98 °C, затем гидролиз ГК 2 %-ной HCl 2 ч при температуре 96–98 °C	16	9
5	2 %-ный раствор NH <sub>4</sub> OH 2 ч при температуре 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор NaOH	23	22
6	2 %-ный раствор NH <sub>4</sub> OH 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор NaOH 2 ч при температуре 96–98 °C, затем гидролиз ГК 2 %-ной HCl 3 ч при температуре 96–98 °C	14	12

Согласно [7, 9], величина порога коагуляции зависит от соотношения между гидрофильными и гидрофобными фрагментами молекул ГК. Гидрофильными свойствами обладают полярные кислород- и азотсодержащие функциональные группы (спиртовые, фенольные, карбоксильные, карбонильные, эфирные, аминогруппы и др.), а гидрофобными – ароматические фрагменты и углеводородные алифатические цепи. С учетом этого можно утверждать, что одной из особенностей ГК, выделенных из торфа водным аммиаком, является их более высокая гидрофильность по сравнению с ГК, извлекаемыми водным раствором гидроксида натрия.

После кислотного гидролиза изолированных препаратов ГК (вариант 2) существенно снижается величина порога коагуляции: у ГК низинного торфа с 46 до 16 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л, у ГК верхового торфа с 18 до 10 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л. Снижение величины порога коагуляции ГК торфа наблюдалось нами ранее [1, 2]. Это можно объяснить тем, что при кислотном гидролизе удаляется значительная часть гидрофильных фрагментов молекул ГК, а в остатке после гидролиза сохраняются преимущественно гидрофобные компоненты. Однако если проводить кислотный гидролиз не изолированных препаратов ГК, а исходного торфа перед извлечением ГК (вариант 3), то величина порога коагуляции снижается гораздо меньше: с 46 до 42 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л у ГК низинного и с 18 до 15 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л у ГК верхового торфа.

Возникает вопрос: почему при кислотном гидролизе торфа величина порога коагуляции снижается значительно меньше, чем при кислотном гидролизе изолированных препаратов? Это можно объяснить разной проницаемостью агрегатов молекул ГК для воды и растворенных в ней ионов кислоты в связи с разной плотностью упаковки надмолекулярных структур ГК, находящихся в торфе, и ГК, выделенных из торфа. Экспериментально доказано [3], что в воздушно-сухом торфе ГК в надмолекулярных структурах упакованы столь плотно, что водные растворы мине-

ральных кислот не могут проникать в глубь их, поэтому кислотный гидролиз протекает лишь на поверхности надмолекулярных структур, а в надмолекулярных структурах изолированных воздушно-сухих препаратов ГК молекулы упакованы рыхло, поэтому надмолекулярные структуры хорошо проникаемы для водных растворов минеральных кислот и гидролиз ГК идет не только на поверхности надмолекулярных структур, но и внутри их. Для достижения полноты гидролиза необходимо проникновение ионов кислоты внутрь надмолекулярных структур ГК, что возможно только в случае гидролиза их изолированных препаратов [3]. Таким образом, разная плотность упаковки ГК в надмолекулярных структурах обуславливает не только разный выход гидролизуемых веществ из ГК, но и разную величину порога коагуляции после кислотного гидролиза торфа и непосредственно ГК.

Если ГК извлечь из остатка после кислотного гидролиза торфа, а затем выделенные сухие препараты еще раз прогидролизовать минеральной кислотой (вариант 4), то величина порога коагуляции оказывается на уровне варианта 2, т. е. двойной кислотный гидролиз (сначала в торфе, а затем дополнительно изолированных препаратов ГК) не приводит к снижению порога коагуляции по сравнению с однократным гидролизом изолированных препаратов. Это еще одно доказательство непроницаемости надмолекулярных структур ГК в сухом торфе и их хорошей проницаемости в сухих изолированных препаратах ГК.

Интересны данные варианта 5, потому что в этом варианте ГК не являются частью гуматов аммония, а, наоборот, они дополнительно извлечены из торфа после удаления аммиачной фракции ГК. У этих препаратов величина порога коагуляции находится на уровне 22–23 мг-экв BaCl<sub>2</sub>/л раствора, причем ГК низинного торфа имеют величину порога коагуляции в 2 раза меньше, а верхового – в 1,2 раза больше по сравнению с ГК, полученными по варианту 1. По-

сле кислотного гидролиза препаратов ГК, дополнительно извлеченных щелочью после экстракции гуматов аммония, величина порога коагуляции приближается к таковой, как у ГК, полученных по варианту 2, и причины снижения величины порога коагуляции такие же, как и у ГК, полученных по варианту 2.

Величина порога коагуляции настолько чувствительна к особенностям строения молекул, что разные фракции ГК, выделенные из одного образца, существенно различаются между собой, например фракции ГК торфа имеют следующую величину порога коагуляции: пирофосфатная – 8–10 мг-экв  $\text{BaCl}_2$  на 1 л гумата, фракция, дополнительно выделенная щелочью при температуре 18–22 °C – 14–16, а фракция, дополнительно извлекаемая 0,02 М едким натром при температуре 80 °C – 26–30 мг-экв [2, 3].

С увеличением степени разложения торфа ГК обогащаются гидрофобными фрагментами, поэтому величина порога коагуляции снижается [1, 2, 17], а при одинаковой степени разложения порог коагуляции у ГК низинного торфа больше, чем верхового. Это можно объяснить тем, что верховой торф формируется в условиях кислой среды в течение тысячелетий и за это время произошло гидролитическое отщепление части боковых цепей с полярными группами от молекул ГК, что подтверждено прямым определением содержания гидролизуемых веществ в ГК низинного и верхового торфа [1, 2].

Особенно четко изменяется величина порога коагуляции ГК в генетическом ряду твердых ископаемых топлив, находящихся на разных стадиях метаморфизма: торф – землистый бурый уголь – блестящий бурый уголь – выветрившийся каменный уголь [10–13]. В этом ряду ГК торфа являются генетически наиболее молодыми, имеют наименьшую степень конденсированности систем полисопряжения, наибольшее количество боковых цепей, эфирных связей, функциональных групп, поэтому они наиболее гидрофильны и наиболее устойчивы к коагуляции. «Эти характерные особенности настолько выражены, что

без труда можно отличить ГК торфа от ГК других твердых топлив более высоких стадий углеобразования» [10]. На стадии бурых углей происходит увеличение степени конденсированности ароматических ядер, уменьшение доли боковых цепей, эфирных связей и функциональных групп, поэтому величина порога коагуляции гуматов снижается (в мг-экв  $\text{BaCl}_2$  на 1 л гумата): торф – 26,2–31,2, землистый бурый уголь – 22,0, блестящий бурый уголь – 12,2, выветрившейся каменный уголь – 9,6 [11, 13].

Из изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Особенностью ГК, извлекаемых из торфа водным аммиаком при температуре 96–98 °C, является более высокая устойчивость к коагуляции по сравнению с ГК, извлекаемыми едким натром.

2. Предварительный кислотный гидролиз торфа 5 %-ной серной кислотой перед выделением гуматов аммония мало влияет на величину порога коагуляции получаемых гуминовых препаратов. Кислотный гидролиз изолированных препаратов ГК снижает порог коагуляции для низинного торфа в 2,7–2,9 раза, для верхового – в 1,7–1,8 раза, что указывает на удаление значительной части гидрофильных фрагментов молекул ГК при кислотном гидролизе.

3. Новыми данными подтверждена гипотеза о различиях плотности упаковки молекул ГК, находящихся в надмолекулярных структурах воздушно-сухого торфа и в выделенных из него препаратах. В торфе ГК в надмолекулярных структурах упакованы столь плотно, что водный раствор кислоты может контактировать лишь с поверхностью надмолекулярных структур и не проникает в глубь их, а в надмолекулярных структурах изолированных препаратов ГК молекулы упакованы рыхло, поэтому надмолекулярные структуры хорошо проникаемы для водного раствора минеральной кислоты и гидролиз ГК идет не только на поверхности надмолекулярных структур, но и внутри их.

## Литература

- 1. Бамбалов, Н. Н.** Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов : автореф. дис. .... канд. хим. наук / Н. Н. Бамбалов. – Минск, 1968.
- 2. Бамбалов, Н. Н.** Пороги коагуляции гуминовых кислот / Н. Н. Бамбалов, В. Е. Раковский // Изв. АН БССР. Сер. хим наук. – 1967. – № 4. – С. 101–103.
- 3. Бамбалов, Н. Н.** Содержание легкогидролизуемых веществ в гуминовых кислотах, выделенных из торфа при различных условиях / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова // Природопользование. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 172–178.
- 4. Бамбалов, Н. Н.** Получение и свойства коллоидных веществ торфа / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, М. С. Милевич // Природопользование. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 172–178.
- 5. Бамбалов, Н. Н.** Экстракция гуминовых веществ из торфа водным аммиаком / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович // Проблемы природопользования: итоги и перспективы : материалы Междунар. науч. конф. Минск, 2012. – С. 15–18.
- 6. Бамбалов, Н. Н.** Показатели процесса экстракции гуминовых веществ из торфа при различных условиях / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых: материалы Междунар. науч. конф. – Минск, 2012. – С. 76–81.

7. Драгунов, С. С. Строение гуминовых кислот и приготовление гуминовых удобрений / С. С. Драгунов // Тр. Моск. торфяного ин-та. – М., 1958. – Вып. 4. – С. 244–256.
8. Драгунов, С. С. Извлечение торфяных гуминовых кислот аминами жирного ряда / С. С. Драгунов, А. П. Рождественский // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Киев, 1968. – Т 3. – С. 206–211.
9. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. – М., 1963.
10. Кухаренко, Т. А. Гуминовые кислоты торфов и особенности их структуры / Т. А. Кухаренко // Тр. Ин-та торфа. – Минск, 1954. – Т. 3. – С. 120–132.
11. Кухаренко, Т. А. Изменение структуры и свойств гуминовых кислот в углеобразовательном процессе / Т. А. Кухаренко // Генезис твердых горючих ископаемых. – М., 1959. – С. 319–337.
12. Кухаренко, Т. А. Исследование гуминовых кислот и негидролизуемого остатка торфов Калининской области / Т. А. Кухаренко // Химическая переработка твердых топлив. – М., 1965. С. 79–84.
13. Кухаренко, Т. А. Порог коагуляции или порог осаждения? / Т. А. Кухаренко // Химия и классификация ископаемых углей. – М., 1966. – С. 171–185.
14. Ларина, Н. К. Ионный обмен и строение гуминовых кислот / Н. К. Ларина, В. И. Касаточкин // Почвоведение. – 1957. – № 9. – С. 28–32.
15. Лиштван, И. И. Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник. – Минск, 1976.
16. Никитенко, А. Д. Сравнительная оценка выхода ГК из торфа при экстракции гидроксидами натрия и аммония / А. Д. Никитенко, Н. Н. Бамбалов // Природопользование. – Минск, 2007. – Вып. 13. – С. 166–169.
17. Раковский, В. Е. К вопросу об определении порога коагуляции гуминовых кислот / В. Е. Раковский, В. А. Батуро // Химия и генезис торфа и сапропелей. – Минск, 1962. – С. 44–51.
18. Хайнский, И. А. Исследование процессов образования гуматов электрохимическими методами / И. А. Хайнский // Коллоид. журн. – 1936. Т. 2. Вып. 1. – С. 61–64.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 29.07.2014 г.

**Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова**

### **КОАГУЛЯЦИЯ ГУМАТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТОРФА ВОДНЫМ АМИАКОМ**

Изучены пороги коагуляции гуминовых кислот (ГК), выделенных из торфа водным амиаком. Особенностью фракции ГК, извлекаемой из низинного торфа водным амиаком, по сравнению с ГК, извлекаемыми гидроксидом натрия, является в 1,5 раза более высокая величина порога коагуляции. Новыми данными подтверждена гипотеза о различиях плотности упаковки молекул ГК, находящихся в надмолекулярных структурах воздушно-сухого торфа и в выделенных из него препаратах. В торфе ГК в надмолекулярных структурах упакованы столь плотно, что водный раствор кислоты может контактировать лишь с поверхностью надмолекулярных структур и не проникает в глубь их, а в надмолекулярных структурах изолированных препаратов ГК молекулы упакованы рыхло, поэтому надмолекулярные структуры хорошо проницаемы для водного раствора минеральной кислоты и гидролиз ГК идет не только на поверхности надмолекулярных структур, но и внутри их.

**N. N. Bambalov, V. V. Smirnova**

### **HUMATE COAGULATION ISOLATED FROM PEAT BY AQUEOUS AMMONIA**

Thresholds coagulation of humic acids (HA) extracted from peat by aqueous ammonia have been studied. Feature HA fraction extracted from moor peat by aqueous ammonia compared with HA extracted with sodium hydroxide, is 1.5 times higher the threshold of coagulation. New data confirmed the hypothesis about the differences of packing density of HA molecules, supramolecular structures are in the air-dry peat and isolated from his preparations. HA in supramolecular structures in peat packed so tightly that the aqueous acid solution may be contacted with a surface of supramolecular structures and does not penetrate deep into them, and supramolecular structures of the isolated preparations HA molecules are packed loosely, so the supramolecular structures are well permeable to an aqueous solution of a mineral acid and hydrolysis of HA is not only on the surface of supramolecular structures, but also within them.

**Г. А. Соколов, О. Г. Красноберская, И. В. Симакина****ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМПЛЕКСНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ В ВОДНОЙ И ПЕСЧАНОЙ КУЛЬТУРАХ**

Приведены данные по влиянию различных составов комплексных гранулированных удобрений (КГУ) на некоторые биометрические показатели развития растений ячменя, пшеницы и кукурузы в водной и песчаной культурах. Показано, что наилучшие показатели онтогенеза сельскохозяйственных растений обеспечивали КГУ, обладающие большей водостойчивостью. Оценка доступности фосфора из разных форм фосфорных удобрений и степени их дисперсности в составе гранул КГУ показала, что в среднем наиболее высокое содержание фосфора в растениях ячменя и кукурузы наблюдалось в вариантах КГУ на торфяной основе с введением простого, затем двойного суперфосфата и аммофоса в порошковидной форме.

Как известно, традиционно используемые в сельскохозяйственном производстве формы и виды минеральных удобрений имеют значительные экологические и агрономические недостатки: непроизводительные потери элементов питания растений от вымывания за пределы корнеобитаемого слоя почвы, снижение коэффициента их использования, загрязнение почв, почвенно-грунтовых вод и водоприемников химическими веществами и др. Минеральные удобрения разрушают агрономически ценные агрегаты почв, в результате чего снижается водопроницаемость, происходит «заплывание» почвы во время дождей, ухудшается ее водно-воздушный режим, уменьшается аэрация.

Применение органических удобрений также имеет существенные экономические, сырьевые и экологические ограничения в связи со значительными объемами доз их внесения в почву и несбалансированностью по питательным элементам.

КГУ, с одной стороны, обладают свойствами минеральных удобрений сравнительно быстро снабжать растения питательными веществами, а с другой, свойствами органических удобрений смягчать и компенсировать негативные проявления от высоких концентраций минеральных солей. Основу удобрений составляют природные органические продукты – торф или сапропель с добавками стандартных, производимых в Беларуси минеральных удобрений (хлористый калий, карбамид, суперфосфат). В состав КГУ входит от 30 до 50 % сухого вещества торфа (сапропеля) и до 50–70 % минеральных туков.

По сравнению с раздельным применением органических и минеральных удобрений КГУ в определенной степени обладают синергетическим эффектом, благодаря которому их использование позволяет не только получать более высокие урожаи, но и существенно улучшать качество и биохимическую полноценность растение-

водческой продукции, т. е. сбалансированность по белкам, углеводам, витаминам и др.

Ионообменные и связующие свойства органических соединений повышают физико-химическую устойчивость элементов минерального питания к вымыванию из гранул: азота – на 25–30 %, калия – на 65–70 % [3]. Это более чем на 20–30 % удлиняет срок действия удобрений, увеличивает коэффициент их использования растениями, снижает непроизводительные потери, что неоднократно подтверждалось в полевых опытах с сельскохозяйственными культурами на землях легкого гранулометрического состава. Помимо азота и калия, считается, что в песчаных почвах, обладающих невысокой поглотительной способностью к ионам фосфорной кислоты, водой вымывается около половины доступного фосфора, внесенного с удобрениями, а в мало-растворимые соединения переходит до 30 % [4]. Применение КГУ позволяет снизить непроизводительные потери, замедляя оба процесса. Однако наряду с этим, как показали результаты наших многолетних полевых испытаний в разных почвенных условиях с сельскохозяйственными культурами, применение КГУ, в состав которых была введена гранулированная форма суперфосфата (простого и двойного), приводило к снижению содержания фосфора в растениях и обусловливало меньшее накопление в них крахмала, сахаров, белка, витаминов и других биологически ценных веществ. Данный факт объясняется локализацией гранул суперфосфата торфяной матрицей и соответственно снижением доступности фосфора молодым растениям, что сопровождается снижением их энергетического потенциала и интенсивности процессов синтеза названных веществ.

С целью изучения степени усвоемости растениями фосфора из гранул КГУ в зависимости от вида органической основы, вида фосфорного удобрения и степени его измельчения для перспективного обоснования оптимальных

технологических решений при производстве КГУ была проведена специально спланированная серия лабораторных опытов с ячменем и кукурузой в песчаной культуре.

**Объект и методика исследований.** Опыты в песчаной культуре. Виды исследуемых в опыте фосфорных удобрений: двойной суперфосфат (40 % действующего вещества), простой суперфосфат (20 % д.в.), аммофос (50 % д.в.), монофосфат кальция  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  (60,6 % д.в.), дифосфат кальция  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  (52,2 % д.в.) и трифосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (45,8 % д.в.). В качестве органической основы использовали низинный торф месторождения «Усяж» с зольностью 17,4 % и степенью разложения 25 %, бурый уголь месторождения «Хандинское» с зольностью 7,0 % и кремнеземистый сапропель озера Червоное с зольностью 35,5 %.

Опыт проводили в пластиковых кассетах емкостью 100 мл. Повторность опыта – четырехкратная. В качестве субстрата использовали кварцевый песок (по 80 г в каждую ячейку кассеты). На расстоянии 1 см от дна ячейки помещали гранулы КГУ, на расстоянии 1 см от поверхности – семена опытной культуры. Навеску КГУ рассчитывали исходя из стандартной нормы внесения – 2 т/га (0,295 г). В каждую ячейку сеяли по 5 зерен ячменя сорта «Атаман». Аналогично готовили кассеты для второй культуры – кукурузы сорта «Родник-1», где в ячейку высевали по 3 зерна. Кассеты с вегетирующими растениями увлажняли до оптимального уровня и размещали при естественном освещении.

В этих экспериментах, где ставилась цель определить влияние состава, форм и степени дисперсности фосфорных удобрений в составе КГУ на доступность фосфора молодым растениям, азот и калий вносили однократно под вегетирующие растения в минимальной подкормочной дозе. Таким образом, условия проведения опытов были направлены на активизацию поглощения фосфора из различных видов и форм фосфорных удобрений в составе органоминеральных гранул с торфом, сапропелем и бурным углем.

**Опыты в водной культуре.** Для приготовления гранул КГУ использовали торф (Т) низинный, древесно-древесноводородный со степенью разложения 35 % и зольностью 11,1 % и сапропель (С) органо-кремнеземистый с зольностью 39,8 %, карбамид (46 % N), аммонизированный суперфосфат (30 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 8 % N) и хлористый калий (60 %  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Вегетационно-лабораторный опыт проводили в 0,5-литровых светонепроницаемых сосудах с дистиллированной водой. В сосуды вносили КГУ и смеси NPK в таком расчётом количестве, чтобы на единицу объема раствора приходились равные по питательным веществам концентрации (общие формы) – 2 г/л. В специальные крепления над раствором помещали по 5 зерен яровой пшеницы сорта «Рассвет», по 4 – кукурузы сорта «Родник-1» и по 6 – ячменя сорта «Атаман». Повторность опытов – 6-кратная. Со-

суды с вегетирующими растениями находились при искусственном освещении 12 ч/сут.

Приготовленные в лабораторных условиях гранулы КГУ не окатывались для придания им сферической формы и упрочнения поверхностной структуры по техническим причинам, поэтому имели цилиндрическую форму с шероховатой поверхностью, что, безусловно, определенным образом сказывалось на динамике высвобождения азота, фосфора и калия в водные растворы в ходе проведения опытов. При этом вид и свойства органической матрицы (торф, сапропель или их комбинация), ее соотношение к массе минеральных удобрений, их разновидность и агрегатное состояние (гранулированные или порошковидные) в составе самих КГУ играли определяющую роль в характере транслокации элементов питания в водный раствор и далее в растение.

Содержание общего фосфора в растениях пшеницы в вариантах КГУ с простым суперфосфатом было выше, чем при внесении КГУ с двойным суперфосфатом (максимальные значения – 4,90 и 4,42 % на сухое вещество соответственно). Очевидная причина этого – выравнивание удобрений по действующему веществу вдвое увеличивало массу и плотность распределения частиц простого суперфосфата в гранулах КГУ и тем самым способствовало более доступному усвоению фосфора растениями.

Несколько ниже было содержание общего фосфора в вариантах с внесением КГУ с монофосфатом (до 4,28 %). Внесение КГУ с аммофосом обусловило накопление фосфора в растениях до 4,25 %. Использование ди- и трифосфатов кальция сопровождалось снижением поступления фосфора в растения.

При выращивании кукурузы КГУ с простым суперфосфатом также были самыми результативными (максимальное содержание общего фосфора – 5,2 %), с двойным суперфосфатом, – 3,84 %. КГУ с аммофосом дали 5 %, в то время как применение КГУ с монофосфатом показало более низкое содержание фосфора в растениях – 3,65 %. Использование в составе КГУ ди- и трифосфатов обусловило снижение поглощения фосфора растениями как ячменя, так и кукурузы до 2,41 и 2,03 % соответственно, что вполне согласуется с литературными данными о худшей их растворимости по сравнению с другими формами фосфорных удобрений, применявшимися в опыте.

Как показали результаты эксперимента, введение в состав КГУ измельченного порошковидного двойного и простого суперфосфата, как правило, приводило к повышению усвоемости фосфора растениями кукурузы и ячменя в вариантах с торфом и бурным углем (табл. 1), по сравнению с КГУ с гранулированной их формой. В этих вариантах содержание фосфора в ячмене было больше при использовании порошковидной формы двойного суперфосфата в сравнении с его гранулированной формой на 9–13 %, а с простым суперфосфатом – на 7,3–12,9 %. Это преувеличение в опыте с кукурузой составляло 9–34 и

26–46 % соответственно. Данный факт объясняется тем, что мелкие частицы суперфосфата более равномерно распределялись в грануле КГУ и были более доступны корневой системе молодых растений.

Однако в составе КГУ на основе сапропеля прослеживалась противоположная картина, т. е. поглощение фосфора из КГУ с порошковидными формами суперфосфатов было меньше, чем с гранулированными.

Оценка доступности фосфора разных форм фосфорных удобрений и степени их дисперсности в составе гранул КГУ показала, что в среднем наиболее высокое содержание фосфо-

ра в растениях ячменя и кукурузы наблюдалось в вариантах КГУ с введением простого, а затем двойного суперфосфата и аммофоса, с применением порошковидной формы суперфосфата и торфяной основы. При включении в состав гранул комплексных гранулированных удобрений  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$  и  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  поглощение фосфора растениями было меньшим и снижалось от первой формы в этом ряду к последней. Установлено, что КГУ более эффективно влияли на морфологию подопытных культур и содержание в них элементов питания по сравнению с эквивалентными дозами минеральных удобрений.

**Таблица 1. Относительное содержание общего фосфора в растениях в зависимости от формы суперфосфата в составе КГУ, % к гранулированной форме**

Связующее	Порошковидная форма	
	двойной суперфосфат	простой суперфосфат
Ячмень		
Торф	109,0	112,9
Бурый уголь	113,1	107,3
Сапропель	87,9	90,5
Кукуруза		
Торф	134,3	126,2
Бурый уголь	109,4	145,8
Сапропель	86,1	92,4

К числу важнейших физико-химических параметров удобрений относится устойчивость элементов минерального питания удобрений к выщелачиванию в оводненной среде. Водоустойчивость элементов питания в КГУ на основе торфа и сапропеля в 2–3 раза выше, чем в исходных гранулированных минеральных удобрениях в чистом виде и в негранулированной смеси с торфом [3]. Наибольшей водоустойчивостью по аммонийному азоту отличались КГУ, приготовленные на основе торфа и сапропеля с повышенной гидролитической кислотностью и минимальной суммой обменных оснований, имеющие поэтому пониженную степень насыщенности основаниями, что обуславливает их более высокую емкость поглощения по отношению к катионам аммония.

В связи с намеченным в текущем году освоением данной разработки и созданием на базе ОАО «Лельчицкий агросервис» производства по выпуску гранулированных удобрений на основе торфа и сапропеля месторождения «Прибыловичи» нами были также выполнена сравнительная оценка действия КГУ различных составов, в том числе относительно контрольного варианта – смеси названных видов стандартных минеральных удобрений в эквивалентных по действующему веществу количествах в водной культуре.

Содержание элементов питания и их вымываемость из гранул по отношению к исходному содержанию приведены в табл. 2 (подробно в [1, 2]).

**Таблица 2. Влияние содержания, вида и формы азотно-фосфорно-калийных удобрений в составе гранул КГУ на торфяной и сапропелевой основе на вы свобождение элементов питания в водные растворы**

Вариант	Содержание элементов питания, % на а.с.м.			Вымываемость, % к исходному содержанию		
	N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$
T+NPK <sub>Г</sub> = 50:50	12,6	12,5	13,0	90	55	76
C+NPK <sub>Г</sub> = 50:50	12,2	13,3	13,9	92	47	69
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> = 30:70	13,7	15,9	16,1	97	63	80
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> = 50:50	12,5	13,4	12,9	92	54	67
T+NPK <sub>П</sub> = 50:50	12,2	13,2	12,8	95	75	76
NPK	15,2	15,2	15,2	100	–	100

Примечание. Здесь и далее NPK<sub>Г</sub> – гранулированные удобрения, NPK<sub>П</sub> – порошковидные.

Замена торфа на сапропель в составе КГУ сопровождалась некоторым снижением вымываемости фосфора и калия. Снижение доли органического материала в составе КГУ с 50 до 30 % чаще сопровождалось возрастанием вымываемости азота, фосфора и калия из КГУ в связи со снижением общей емкости обмена, хотя по торфу и сапропелю, как и по виду минеральных туков, прослеживались определенные особенности. Порошковидная форма NPK-удобрений в КГУ на торфе обусловила тренд на большую вымываемость азота и особенно фосфора из органо-минеральных гранул.

В сосудах со смесью минеральных удобрений фактическая концентрация элементов питания в водном растворе была выше, чем в сосудах с КГУ, из-за большей водоустойчивости последних. Фосфор суперфосфата в КГУ удерживался значительно прочнее, чем азот. При этом была заметна обратная зависимость его водоустойчивости от агрохимической природы торфа и сапропеля. С увеличением содержания карбо-

натов, полуторных оксидов железа и алюминия вымываемость фосфора снижается, что обуславливается процессами взаимодействия с ними фосфорной кислоты и образованием менее подвижных фосфатов.

Водоустойчивость катионов калия в КГУ в основном аналогична устойчивости аммонийного азота, что определяется их примерно равными ионообменными свойствами.

Концентрационные эффекты, по-видимому, также оказали заметное влияние на морфометрические данные testируемых растений. Так, к примеру, длина корней во всех вариантах опыта была значительно меньше, чем в варианте абсолютного контроля (дистиллированная вода), где питательные вещества отсутствовали. Это явление вполне типично для подобных опытов с водной культурой, когда растение расходует больше энергии на рост корневой системы в поисках питания, что в условиях его дефицита идет в ущерб вегетативной массе и в целом подтверждается полученными результатами (табл. 3–5).

**Таблица 3. Средние биометрические показатели развития растений кукурузы**

Вариант	Средняя длина надземной части		Средняя длина корней		Изменение среднего значения массы сухого вещества растения, % к контролю
	см	% к контролю	см	% к контролю	
T+NPK <sub>Г</sub> =50:50	18,9	126,0	7,3	52,1	172,4
C+NPK <sub>Г</sub> =50:50	18,2	121,3	7,6	54,3	168,5
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> =30:70	17,1	114,0	7,5	53,6	165,4
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> =50:50	18,6	124,0	7,2	51,4	161,1
T+NPK <sub>П</sub> =50:50	20,7	138,0	7,4	52,9	178,2
NPK	19,0	126,7	9,8	70,0	151,6
Контроль (дистиллированная вода)	15,0	100,0	14,0	100,0	100,0

**Таблица 4. Средние биометрические показатели развития растений пшеницы**

Вариант	Средняя длина надземной части		Средняя длина корней		Изменение среднего значения массы сухого вещества растения, % к контролю
	см	% к контролю	см	% к контролю	
T+NPK <sub>Г</sub> =50:50	25,9	132,8	10,9	43,6	161,3
C+NPK <sub>Г</sub> =50:50	26,9	137,9	10,7	42,8	154,8
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> =30:70	27,8	142,5	11,5	46,0	158,1
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> =50:50	28,7	147,2	11,9	47,6	164,5
T+NPK <sub>П</sub> =50:50	26,7	137,0	10,8	43,2	171,0
NPK	25,2	129,2	10,8	43,2	154,8
Контроль (дистиллированная вода)	19,5	100,0	25,0	100,00	100,0

Под влиянием изучаемых видов и форм удобрений средняя масса сухого вещества одного растения кукурузы варьировалась от 0,35 г на дистилляте до 0,56–0,62 г в варианте с КГУ, что было до почти 27 % более NPK-контроля, длина растения от корневой шейки была на 14–38 % выше абсолютного контроля. Масса сухого вещества одного растения пшеницы изменялась от

0,12 до 0,20 г или до 16 % выше NPK-контроля, и ячменя от 0,14 до 0,28 г, или до 31 % более NPK-контроля, что свидетельствует об определенном преимуществе КГУ по сравнению со стандартным удобрением. Особых различий между вариантами с КГУ отмечено не было.

Как видно из табл. 4, в опыте с пшеницей растения в вариантах с КГУ были значительно

выше как в контроле (на 31,3–47,2 %), так и в вариантах с NPK на 8,7–18,0 %.

Ячмень оказался культурой, наиболее отзывчивой на воздействие изучаемых удобрений. Высота растений в вариантах с КГУ превышала данный показатель контрольных растений на 60,5–76,2 % и в варианте с NPK-контролем на 8,6–24,3 %. Длина корней в вариантах с КГУ была меньше контрольной на 8,4–15,8 % и больше,

чем в варианте с NPK, на 33,0–40,4 %. Средняя масса сухого вещества одного растения с КГУ значительно превышала контрольную (на 84,4–103,1 %) и в варианте с минеральными NPK-удобрениями на 12,5–31,2 %. Все показатели были выше в варианте T+NPK<sub>п</sub>=50:50 с порошковидной формой NPK-удобрений, чем в варианте с гранулированной их формой.

**Таблица 5. Средние биометрические показатели развития растений ячменя**

Вариант	Средняя длина надземной части		Средняя длина корней		Изменение среднего значения массы сухого вещества растения, % к контролю
	см	% к контролю	см	% к контролю	
T+NPK <sub>Г</sub> =50:50	29,7	160,5	10,2	85,0	184,4
C+NPK <sub>Г</sub> =50:50	29,9	161,6	10,7	89,2	190,6
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> =30:70	30,7	165,9	10,8	90,0	198,9
(T <sub>50</sub> +C <sub>50</sub> )+NPK <sub>Г</sub> =50:50	31,3	169,2	10,1	84,2	198,9
T+NPK <sub>п</sub> =50:50	32,6	176,2	11,0	91,6	203,1
NPK	28,1	151,9	6,5	51,2	171,9
Контроль (дистиллированная вода)	18,5	100,00	12,0	100,00	100,0

Таким образом, биометрические показатели растений в вариантах с КГУ были на уровне, но чаще превосходили аналогичные в вариантах с минеральными NPK-удобрениями, по-видимому, благодаря комплексу преимуществ гранулированных органо-минеральных удобрений. При этом фактическая концентрация элементов питания в растворах с КГУ была несколько ниже из-за большей их водоустойчивости и оптимизированного высвобождения азота и калия. Также важным было наличие в составе органической части гранул как биоактивных гуматов и микроэлементов (составы с сапропелем), так и различных органических соединений, пусть и в незначительных количествах.

Замена торфа на сапропель в составе КГУ сопровождалась некоторым снижением вымываемости фосфора. Снижение доли органического материала в составе КГУ с 50 до 30 % чаще сопровождалось возрастанием вымываемости азота, фосфора и калия из КГУ в связи со снижением общей емкости обмена, хотя по торфу и сапропелю, как и по виду минеральных туков, прослеживались определенные особенности. Порошковидная форма NPK-удобрений в КГУ на

торфе обусловила тренд на большую вымываемость азота и особенно фосфора из органоминеральных гранул.

**Выводы.** Оценка доступности фосфора разных форм и степени дисперсности фосфорных удобрений в составе гранул КГУ показала, что в среднем наиболее высокое содержание фосфора в растениях ячменя и кукурузы наблюдалось на вариантах КГУ с введением простого, а затем двойного суперфосфата и аммофоса, с применением порошковидной формы суперфосфата и торфяной основы. С включением в состав гранул КГУ Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, CaHPO<sub>4</sub> и Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> поглощение фосфора растениями было меньшим и снижалось от первой формы в этом ряду к последней.

Установлено, что КГУ более эффективно влияли на морфологию подопытных культур и содержание в них элементов питания по сравнению с эквивалентными дозами минеральных удобрений.

Наилучшие показатели онтогенеза сельскохозяйственных растений обеспечивали КГУ, обладающие большей водоустойчивостью.

## Литература

1. Красноберская, О. Г. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур под влиянием сапропеля озера Прибыловичи / О. Г. Красноберская [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. науک. – 2013. – № 3. – С. 52–57.
2. Соколов, Г. А. Влияние состава комплексных гранулированных удобрений на вымываемость из них элементов питания / А. Г. Соколов, О. Г. Красноберская, И. В. Симакина // Структура и морфогенез

почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2013. – С. 304–307.

3. Тишкович, А. В. Использование торфа в сельском хозяйстве / А. В. Тишкович. – Минск, 1984.
4. Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. – М., 1990.

## **Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 18.08.2014 г.

**Г. А. Соколов, О. Г. Красноберская, И. В. Симакина**

### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМПЛЕКСНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ В ВОДНОЙ И ПЕСЧАНОЙ КУЛЬТУРАХ**

Приведены данные по влиянию различных составов комплексных гранулированных удобрений (КГУ) на некоторые биометрические показатели развития растений ячменя, пшеницы и кукурузы в водной и песчаной культурах. Показано, что наилучшие показатели онтогенеза сельскохозяйственных растений обеспечивали КГУ, обладающие большей водоустойчивостью. Оценка доступности фосфора из разных форм фосфорных удобрений и степени их дисперсности в составе гранул КГУ показала, что в среднем наиболее высокое содержание фосфора в растениях ячменя и кукурузы наблюдалось в вариантах КГУ на торфяной основе с введением простого, затем двойного суперфосфата и аммофоса в порошковидной форме.

**G. A. Sokolov, O. G. Krasnoberskaya, I. V. Simakina**

### **THE INFLUENCE OF THE COMPLEX GRANULATED FERTILIZER ON PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT IN THE WATER AND SAND TESTS**

*The results on the effect of different compositions of complex granulated fertilizer (CGF) to some biometrics parameters of barley, wheat and maize in the water and sand tests are discussed. It is shown that the best data on plants ontogenesis were provided by CGF characterized with higher water resistance. The assessment of the availability of phosphorus to plant from different forms of phosphorus fertilizers in the composition of CGF pellets has shown that the high phosphorus content in average in barley and maize plants were observed in variants with CGF on peat base with powdered forms of phosphorus.*

**Г. А. Соколов, И. В. Симакина, О. Г. Красноберская****ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ГУМИНОВОГО КОМПЛЕКСА  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Приведены результаты исследования изменения состояния почвенного гуминового комплекса под воздействием различных видов и концентраций растворов минеральных удобрений. Установлено, что поглотительная способность почв зависит от их генезиса и возрастает с увеличением содержания в них органического вещества и концентрации растворов минеральных удобрений. Применение более концентрированных растворов приводит к более интенсивному вымыванию из торфяных, органо-минеральной и дерново-подзолистой супесчаной почве гуминовых веществ.

В Беларуси, как и других странах с интенсивным ведением сельского хозяйства, имеют место нежелательные проявления, связанные с загрязнением растениеводческой продукции, почв и почвенно-грунтовых вод средствами химизации и их метаболитами. Такие кризисные ситуации проявляются в агроландшафтах, где агрономическая цель превышает экологически обоснованное нормирование доз удобрений, способных в зависимости от их количества выполнять функцию компенсации элементов питания и баланса органического вещества либо при избыточном внесении увеличивать непроизводительные потери элементов питания от вымывания за пределы корнеобитаемого слоя почвы, понижая коэффициент их использования, усиливать загрязнение почв и водоприемников химическими веществами, накопление их в растении и др. Избыток минеральных удобрений разрушает агрономически ценные агрегаты почв, в результате чего снижается водопроницаемость, происходит «заплыивание» почвы во время дождей, уменьшается аэрация, ухудшается ее водно-воздушный режим.

К настоящему времени отработаны методы определения экономически и агрономически оптимальных доз минеральных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры на основных почвенных разновидностях, есть конкретные рекомендации для повышения плодородия почв разного генезиса [1–7]. Однако по целому ряду причин имеется недостаточно данных об экологически безопасных нормах средств химизации, в том числе и удобрений, для различных почвенно-климатических условий, а также информации об экологической устойчивости почв и средствах ее повышения.

Отсутствие четких критериев в оценке экологической устойчивости почв при систематическом и интенсивном воздействии на них средств химизации и агрономических нагрузок вызывает необходимость углубленного исследования режимов и протекающих в почве процессов для обоснования способов улучшения их экологического состояния.

Одним из чувствительных показателей, определяющих благополучие почв, является со-

стояние гуминового комплекса. Взаимодействие с ним солей минеральных удобрений, а также влияние последних на структуру, свойства и миграционные характеристики органического вещества почв, на наш взгляд, изучены недостаточно полно.

Цель настоящих исследований – изучение влияния возрастающих доз минеральных удобрений на органическое вещество почв, изменение состояния гуминового комплекса и поглотительной способности почв разного генезиса в зависимости от возрастающих концентраций растворов хлористого калия и нитрата аммония.

Объекты исследований – торфяно-болотные почвы, сформированные на осоковом и тростниково-виде торфа, а также сработанная органо-минеральная почва (их зольность соответственно 8,4, 11,8 и 71,4 %). Критерием отбора служило содержание гуминовых веществ и гуминовых кислот (соответственно 58,6/43,8; 53,2/44,1 и 52,8/40,4 %). Модельные лабораторные эксперименты проводились в хроматографических колонках в условиях, исключающих влияние микробиоты и почвенных ферментов и вычленяющих действие ионов изучаемых минеральных удобрений.

На основании экспериментальных и расчетных данных получены графические кривые (рис. 1–3), характеризующие ход процесса поглощения ионов аммония и калия из соответствующих растворов нитрата аммония и хлористого калия исследуемого диапазона концентраций. Они показывают, что емкость поглощения почвы и пороговые значения удерживающей способности почвы возрастают с увеличением концентрации раствора и зависят от разновидности почвы. Чем больше в составе органогенной породы органического вещества, тем больше ионов калия и аммония связываются с ним. Так, почвы, сформированные на тростниковом и осоковом видах торфа с незначительным содержанием зольных элементов, поглощают калия в зависимости от концентрации раствора в 3–5 раз, а ионов аммония в 1,5–4 раза больше по сравнению с органо-минеральной почвой и в 6–12 раз по сравнению с дерново-подзолистой (табл. 1).

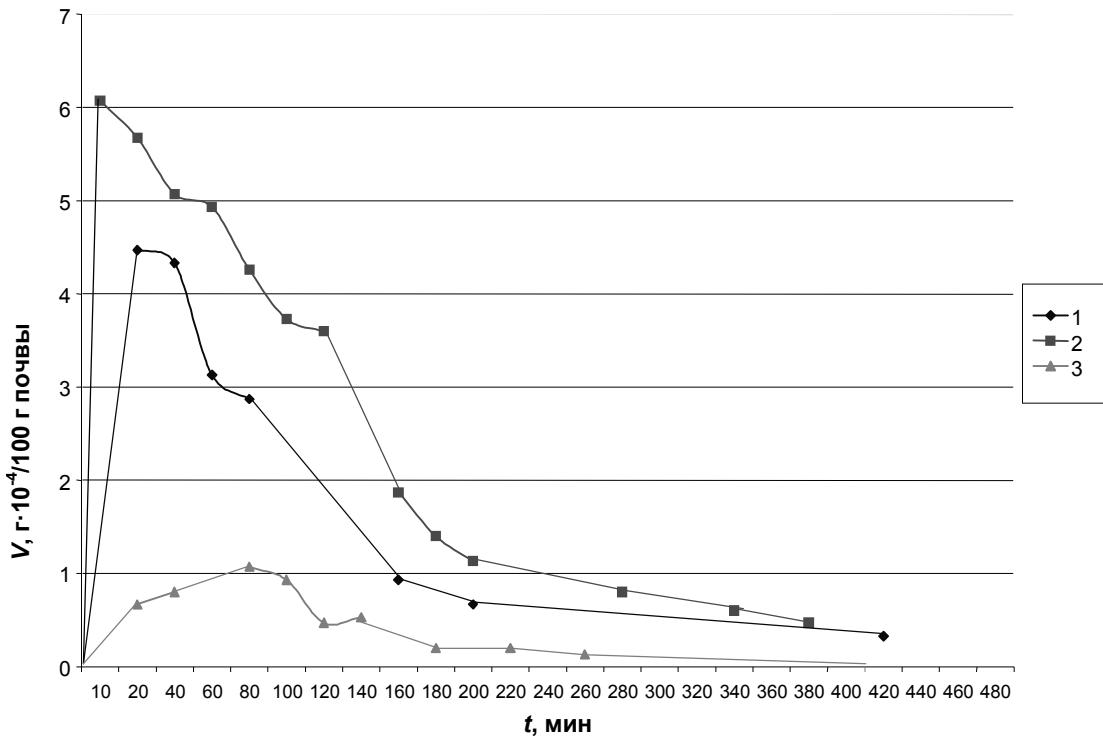


Рис. 1. Скорость поглощения ионов калия органогенными почвами при воздействии 0,01 н. раствором KCl: 1 – почва на осоковом торфе, 2 – почва на тростниковом торфе, 3 – органо-минеральная почва

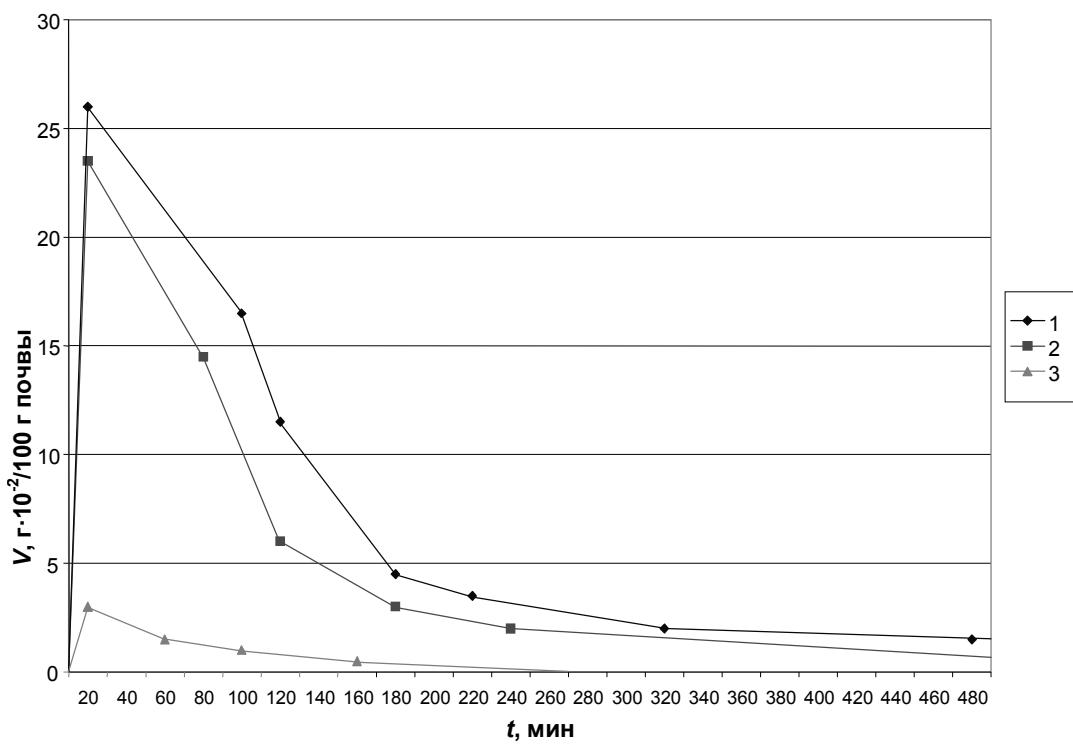


Рис. 2. Скорость поглощения ионов калия органогенными почвами при воздействии 1,0 н. раствором KCl: 1 – почва на осоковом торфе, 2 – почва на тростниковом торфе, 3 – органо-минеральная почва

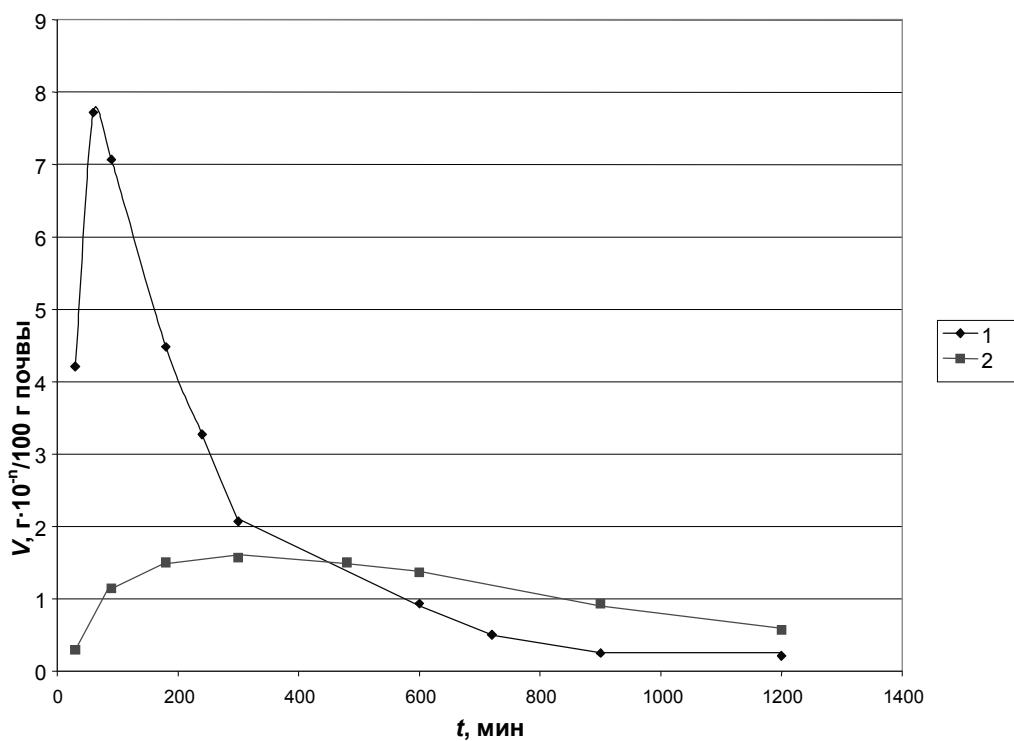


Рис. 3. Скорость поглощения ионов аммония почвой на осоковом торфе при воздействии растворами  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ : 1 – 0,005 н. раствор,  $n = 4$ ; 2 – 0,0001 н. раствор,  $n = 5$

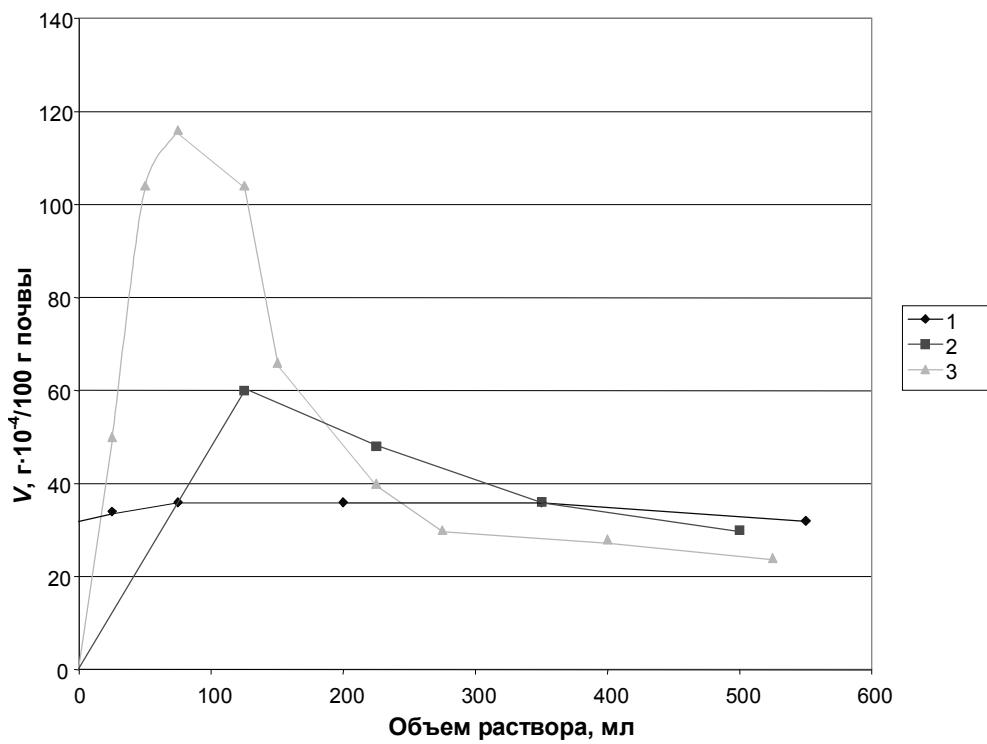


Рис. 4. Вымывание органического вещества из почвы на тростниковом торфе при воздействии растворами  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ : 1 – 0,005 н. раствор, 2 – 0,001 н., 3 – 0,0001 н.

**Таблица 1. Поглощение катионов почвами при воздействии растворов хлористого калия и нитрата аммония разной концентрации**

Разновидность почв	Количество поглощенных ионов, г/100 г почвы							
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>				K <sup>+</sup>			
	при концентрации раствора, нормальность							
	0,0001	0,0005	0,001	0,005	0,010	0,01	0,05	0,1
Торфяная на основе тростникового торфа	0,0083	—	0,055	0,095	0,278	0,40	1,80	3,6
Торфяная на основе осокового торфа	0,0135	—	—	0,180	—	0,40	2,00	4,3
Органо-минеральная	0,0033	—	0,025	0,060	0,015	0,09	0,50	0,8
Дерново-подзолистая	—	0,0066	0,009	0,015	0,034	—	—	—

Рост концентраций растворов вызывает соответствующее увеличение значений максимальных скоростей реакции.

Общий характер кинетических кривых взаимодействия ионов калия и аммония с почвами в исследуемом интервале концентраций идентичен. Процесс насыщения поглощающего комплекса ионами начинается с нарастающих, характерных для каждой концентрации скоростей, которые, пройдя максимумы, постепенно затухают. Следует отметить, что величина максимумов скоростей реакций прямо пропорциональна концентрациям элюирующих растворов. При этом максимумы скоростей с ростом концентраций достигаются в более короткое время. Так, при концентрации раствора 0,001–0,01 н. скорости процесса поглощения ионов аммония достигают своего максимума в течение 30–60 мин, ионов калия в пределах концентраций 0,01–0,1 н. – 20–60 мин.

На рис. 4 в динамике представлен процесс вымывания органического вещества при обработке почвы на основе тростникового торфа растворами нитрата аммония. Характер кривых для остальных почв и для хлористого калия аналогичен.

Обращает на себя внимание тот факт, что менее концентрированные растворы (0,0001 н.) на первой стадии процесса вымывают органического

вещества в 1,5 раза больше, чем растворы с более высокой концентрацией (0,0005 н.). Очевидно, это можно объяснить подкислением почвы в результате образования минеральной кислоты при обмене ионов аммония на ионы водорода. По истечении объема элюата, равного примерно 300 мл, интенсивность вымывания органического вещества почв растворами нитрата аммония разной концентрации выравнивается.

Общий характер кинетических кривых вымывания органического вещества почв растворами хлористого калия и нитрата аммония в исследуемом интервале концентраций идентичен.

Обращает на себя внимание также и различия в вымываемости органического вещества торфяной почвы на тростниковом и осоковом видах торфа. При относительно небольшом различии в содержании гуминовых веществ в этих почвах (53–58 % на органическое вещество) органическое вещество в торфяной почве на осоковом торфе более лабильно, гуминовых кислот выходит в раствор в 2,5 раза больше по сравнению с торфяной почвой на тростниковом торфе.

Химический состав органического вещества исходных образцов почв и его изменение в результате воздействия растворов хлористого калия и нитрата аммония представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Изменение состава органического вещества почв под воздействием минеральных удобрений, % на органическое вещество**

Разновидность почв	Вид удобрения, концентрация раствора, нормальность	Водорастворимые вещества, выделенные при температуре, °C			Легко-гидролизуемые вещества	Гуминовые вещества			Трудно-гидролизуемые вещества
		20	80	всего		всего	ГК	ФК	
Торфяная на основе осокового торфа	Исходная	0,8	3,5	4,3	25,4	58,6	43,8	14,8	11,7
	KCl – 1,0	1,8	12,9	14,7	23,9	49,9	38,3	11,6	11,5
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> – 0,001	7,2	4,4	11,6	24,8	49,5	38,7	10,8	11,2
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> – 1,0	8,6	6,3	14,9	23,1	50,6	41,9	8,7	11,4
Торфяная на основе тростникового торфа	Исходная	0,7	4,6	5,3	31,7	53,2	44,1	9,1	9,8
	KCl – 1,0	2,2	12,1	14,3	30,8	45,3	38,4	6,9	9,6
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> – 0,001	4,7	5,3	10,0	28,8	49,9	43,9	6,0	9,5
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> – 1,0	5,3	10,0	15,3	28,1	46,9	41,1	5,8	9,7
Органо-минеральная	Исходная	1,3	1,5	2,8	36,4	52,8	40,4	12,4	8,0
	KCl – 1,0	2,3	16,0	18,3	34,2	39,8	38,1	1,7	7,7

Как указывалось выше, для органического вещества всех исследуемых почв характерно довольно высокое содержание гуминовых веществ (52,8–58,6 %), в том числе гуминовых кислот (40,4–44,1 % на органическое вещество). Приведенные данные свидетельствуют, что большая их часть (73–77 %) от общего выхода извлекается при довольно мягких условиях – 0,1 н. раствором NaOH при температуре 20 °C; 20–26 % – при температуре 80–100 °C и меньше всего извлекается щелочным раствором пирофосфорнокислого натрия.

Данные табл. 2 позволяют обратить внимание на существенное увеличение выхода водорастворимых фракций после воздействия на почву растворов хлористого калия и нитрата аммония. Количество их возрастает по сравнению с исходными почвами в 2–3 раза, а в органо-минеральной почве – в 6 раз. Это увеличение

происходит в основном за счет гуминовой части органического вещества и в меньшей мере – за счет легкогидролизуемых соединений. Следует отметить, что здесь превалируют органические вещества, не осаждаемые соляной кислотой. Доля же фульвокислот при этом сильно снижается, особенно при обработке минеральным туком органо-минеральной почвы.

В варианте обработки почв растворами нитрата аммония 0,001 н. концентрации отсутствует баланс органического вещества: количества веществ, извлекаемых из почвенных проб различными экстрагентами, в сумме не дают 100 %. Объяснением этому могут быть, как отмечено выше, потери гуминовых веществ при насыщении почв растворами слабых концентраций.

В табл. 3 приведены результаты вымывания гуминовых веществ растворами туков разной концентрации.

**Таблица 3. Вымывание гуминовых веществ из почв растворами минеральных удобрений разных концентраций**

Разновидность почв	Вид удобрения	Концентрация, нормальность	Объем элюата, мл	Кол-во ГВ, г/100 г почвы
Торфяная на основе тростникового торфа	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0,0001	180	0,1433
			600	0,2723
		0,001	180	0,0867
			600	0,2265
		0,005	180	0,0693
			600	0,2080
	KCl	0,05	180	0,1438
		0,1	180	0,1120
	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0,001	180	0,2892
			600	0,5901
		0,005	180	0,1549
			600	0,5339
Торфяная на основе осокового торфа	KCl	0,1	180	0,3161
	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0,001	180	0,2067
			600	0,2775
		0,005	180	0,0534
			600	0,1257
	KCl	0,05	180	0,0900
Органо-минеральная	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0,001	180	0,2067
			600	0,2775
		0,005	180	0,0534
			600	0,1257
		0,05	180	0,0900
	KCl	0,1	180	0,3161
		0,001	180	0,2067
			600	0,2775
		0,005	180	0,0534
			600	0,1257

Выявлено, что с менее концентрированными растворами этот процесс проходит значительно интенсивнее. Объяснение этому дает рассмотрение явления с точки зрения законов химической кинетики. Процесс носит диффузионно-кинетический характер и состоит из двух стадий. Первая стадия для почв на основе торфа идет в кинетической области ( $n > 1$  для всех концентраций). Скорость вымывания органического вещества из почв на этой стадии имеет обратную зависимость от концентрации растворов минеральных удобрений и определяется процессами сорбции исходных веществ на поверхности раздела фаз, химических превращений и десорбции продуктов реакции.

На второй стадии в диффузионную область «погружается» лишь вариант обработки почвы на основе тростникового торфа менее концентрированным раствором, и наступает эта стадия уже через 135 мин. от начала процесса, в то время как вариантам с более концентрированными растворами (0,001 и 0,005 н.) переходу в другую стадию соответствует более позднее время – 210 и 270 мин. Но эти реакции продолжают оставаться в кинетической области. Скорость реакции в диффузионной области определяется процессами диффузии исходных веществ к поверхности и продуктов реакции от поверхности раздела фаз.

Константа скорости для первого варианта в стадии диффузионной области выше других ва-

риантов, и максимальная скорость достигается при этом за более короткое время, что и объясняет более высокую интенсивность вымывания органических веществ слабыми растворами минеральных удобрений.

Для почвы на осоковом торфе прослеживается аналогичная зависимость скорости вымывания гуминовых веществ от концентрации раствора.

Взаимодействие раствора нитрата аммония 0,0001 н. концентрации с органо-минеральной почвой на первой стадии определяется диффузионными процессами ( $n = 0,65$ ). При концентрации раствора туга 0,005 н. реакция взаимодействия ионов аммония нитрата аммония на

первой стадии входит в кинетическую область. Константа скорости в первом случае значительно выше, чем и можно также объяснить более высокую интенсивность выделения органического вещества из органо-минеральной почвы растворами слабой концентрации.

При оценке воздействия хлористого калия на вымывание из торфяных почв двухвалентных катионов обращает на себя внимание обеднение почв двухвалентными катионами — кальцием и магнием (табл. 4) после обработки их растворами хлористого калия различной концентрации. Причем с увеличением концентрации воздействующего раствора остаточное содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в почве уменьшается.

**Таблица 4. Содержание двухвалентных катионов в почвах после обработки их раствором хлористого калия, г/кг**

Вид почвы, содержание $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	Концентрация раствора $\text{KCl}$ , н.				
	0,001	0,05	0,01	0,1	1,0
Тростниковая, 16,3/0,58	12,6/0,54	11,5/0,36	13,5/0,33	10,3/0,39	7,4/0,25
Осоковая, 12,6/0,44	12,7/0,44	10,0/0,43	11,6/0,46	8,8/0,33	3,2/0,08
Органоминеральная, 4,9/0,43	2,3/0,42	1,9/0,42	1,9/0,43	1,4/0,23	0,4/0,21

В исследованиях вымывания  $\text{Ca}^{2+}$  водными растворами аммиачной селитры отмечено, что количество вымываемого  $\text{Ca}^{2+}$  снижается от первых порций элюата к последующим. Растворы высоких концентраций обусловливали более интенсивную миграцию этого катиона из почв. По возрастающему количеству вымываемого кальция почвы составляют следующую последовательность: органо-минеральная  $\rightarrow$  осоковая  $\rightarrow$  тростниковая при исходном его содержании 5, 16 и 13 мг на 100 г сухой почвы соответственно.

**Выходы.** Применение минеральных удобрений оказывает многостороннее влияние на почву в целом и на ее гуминовый комплекс в частности и приводит к заметному изменению структуры органического вещества почв, обусловливая увеличение относительной доли водорастворимых соединений, что на 80–90 % происходит за счет гуминовой части и на 10–20 % – за счет легкогидролизуемых веществ.

Поглотительная способность почв в отношении ионов  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  зависит от их генезиса и

находится в прямой связи с количеством содержащегося в них органического вещества и концентрацией растворов минеральных удобрений. Торфяные почвы по сравнению с органо-минеральной и дерново-подзолистой в зависимости от концентрации растворов минеральных удобрений поглощают в 1,5–4 и 6–12 раз больше аммония и в 4–30 раз – калия.

Изучение взаимодействия поглощающего комплекса почв с растворами хлористого калия и нитрата аммония с точки зрения законов химической кинетики обнаруживает тенденцию к росту константы скорости поглощения ионов  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  при увеличении концентрации раствора и температуры среды, однако последний фактор в диапазоне 10–40 °C играет второстепенную роль.

Возрастание концентраций водных растворов нитрата аммония и калия хлористого сопровождается более интенсивным вымыванием из торфяных, органо-минеральной и дерново-подзолистой супесчаной почв гуминовых веществ и катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ .

## Литература

1. Девятова, Т. А. Биоэкологические принципы мониторинга и диагностики загрязнения почв / Т. А. Девятова // Вестн ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. – 2005. – № 1. – С. 105–106.
2. Деградация земель Беларуси: состояние, проблемы и основные направления ее решения / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2004.
3. Как повысить плодородие легких почв: рекомендации / под ред. Т. Н. Кулаковской. – Минск, 1976.
4. Минеев, В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. – М., 1990.
5. Минеев, В. Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В. Г. Минеев, Е. Х. Ремпе. – М., 1990.

6. Повышение плодородия почв и продуктивность сельского хозяйства при интенсивной химизации ; под ред. Л. А. Кораблевой, А. В. Петербургского. – М., 1983.
7. Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур : справ. / В. В. Церлинг. – Минск, 1990.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 18.08.2014 г.

Г. А. Соколов, И. В. Симакина, О. Г. Красноберская

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ГУМИНОВОГО КОМПЛЕКСА  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Применение минеральных удобрений оказывает многостороннее влияние на почвенный поглощающий комплекс, изменяет структуру органического вещества почв, обусловливая увеличение относительной доли водорастворимых соединений, что на 80–90 % происходит за счет гуминовой части и на 20–10 % – за счет легкогидролизуемых веществ.

Поглотительная способность почв в отношении ионов  $K^+$  и  $NH_4^+$  зависит от их генезиса и находится в прямой связи с количеством содержащегося в них органического вещества и концентрацией растворов минеральных удобрений. Торфяные почвы по сравнению с органо-минеральной и дерново-подзолистой в зависимости от концентрации растворов минеральных удобрений поглощают в 1,5–4 и 6–12 раз больше аммония и в 4–30 раз калия.

Возрастание концентраций водных растворов нитрата аммония и хлористого калия сопровождается более интенсивным вымыванием из торфяных, органоминеральной и дерново-подзолистой супесчаной почв гуминовых веществ и катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .

G. A. Sokolov, I. V. Simakina, O. G. Krasnoberskaya

**TRANSFORMATION OF SOIL HUMIC COMPLEX  
UNDER THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS**

The application of fertilizers has a multifaceted impact on soil absorbing complex, transforms the structure of soil organic matter, causing an increase in the relative proportion of water-soluble compounds that is determined 80–90 % is due to humic parts and 20–10 % at the easy hydrolysable substances.

The absorptive capacity of the soil in relation to  $K^+$  and  $NH_4^+$  ions depends on their genesis and is directly related to the amount of organic matter contained in soil and the concentration of solutions of mineral fertilizers. Peat soils depending on the concentration of fertilizers of solutions absorb 1,5–4 and 6–12 times more ammonium and 4–30 times more potassium than organic-mineral and sod-podzolic ones.

The increase in concentration of aqueous solutions of ammonium nitrate and potassium chloride is accompanied by more intense leaching humic substances and cations  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  from peat, organic-mineral and sod-podzolic sandy loam soils.

УДК 622.7+631.41

**С. И. Коврик<sup>1</sup>, Н. Н. Бамбалов<sup>1</sup>, Г. А. Соколов<sup>1</sup>, К. А. Павлов<sup>2</sup>, Ю. Б. Спесивцева<sup>2</sup>**

## **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ЖИДКИХ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТАХ**

*Разработана и аттестована в БелГИМ «Методика определения массовой доли механических примесей в препаратах гуминовых жидкых». В ходе анализа разбавленный гуминовый препарат фильтровали, полученный осадок высушивали при температуре от 100 до 105 °C до постоянной массы, затем определяли массовую долю полученного осадка. Диапазон измерений методики составлял от 0 до 12 %. Методика обеспечивает измерение массовой доли механических примесей в указанном диапазоне с абсолютной погрешностью измерений от 0,2 до 1 % при Р = 0,95.*

Промышленные жидкие гуминовые препараты (ГП) могут быть получены по различным технологиям (щелочной и кислотный гидролиз, окисление, кавитация и др.) и из различных видов сырья (торф, сапропель, бурый уголь, навоз, компост, биогумус и их смеси) [1, 3, 4, 6].

Наиболее широкое применение ГП находят в растениеводстве, где они используются как стимуляторы роста растений или биологически активный компонент микроудобрений [7, 8–10]. В настоящее время активно рекламируются и продаются жидкие ГП типа «Оксидат торфа», «Гидрогумат», «Гидрогумин», «Гумовет» и т. п. В ближайшие годы спрос на такую продукцию в сельском хозяйстве, ветеринарии, бальнеологии, косметике и других отраслях будет возрастать, поскольку эти препараты получают из натурального экологически чистого сырья: торфа, сапропеля, бурого угля и др. Разнообразие источников сырья и технологических приемов получения промышленных ГП обуславливает высокую вариабельность их свойств, в связи с чем возникают проблемы стандартизации методов исследования, идентификации и унификации требований к ГП.

До недавнего времени в Республике Беларусь не проводили испытания жидких ГП на соответствие требованиям технических нормативных правовых актов (СТБ и методик выполнения измерений (МВИ)) из-за отсутствия последних.

Механические примеси, которые могут содержаться в ГП, затрудняют или делают невозможным равномерное опрыскивание растений. Поэтому одним из основных показателей качества ГП является содержание механических примесей. В 2013 г. Институтом природопользования в рамках Государственной программы «Торф» разработана и аттестована МВИ «Методика определения массовой доли механических примесей в препаратах гуминовых жидких» [5], сущность которой заключается в фильтровании испытуемых ГП с последующим высушиванием и взвешиванием осадка, оставшегося на фильтре.

Согласно [2], для аттестации МВИ необходимо провести межлабораторные сличительные испытания (МСИ), которые не только позволяют оценить достоверность результатов, полученных в каждой отдельной лаборатории, но и дают наглядное представление о реальной точности МВИ. Межлабораторные сличительные испытания проводили в следующих лабораториях:

лаборатории агроэкологии Института природопользования;

центральной лаборатории филиала РУП «Белгео»;

лабораторно-аналитическом исследовательском центре РУП «Институт почвоведения и агрохимии»;

испытательной лаборатории отдела изысканий и проектирования открытых горных разработок РУП «Белниитоппроект»;

научно-исследовательской аналитической лаборатории Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства при БГАТУ.

Первые четыре лаборатории аккредитованы в системе контроля качества и сертификации продукции в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь.

Цель данной статьи – оценить точность и воспроизводимость результатов, полученных при проведении МСИ по определению массовой доли механических примесей в ГП, с использованием данных математической статистики (критерии Кохрена и Граббса).

Эксперимент проводили следующим образом: пробу ГП хорошо перемешивали вручную встрихиванием в течение 5 мин в емкости, заполненной не более чем на 3/4 ее вместимости. Затем навеску пробы массой  $10,0 \pm 0,5$  г помещали в коническую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup>, приливали 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, отмеренной мерным цилиндром, и перемешивали стеклянной палочкой в течение 10 мин. Полученную суспензию фильтровали через фильтр,

предварительно высушенный в сушильном шкафу до постоянной массы при  $90\pm 5$  °С и взвешенный. Остатки ГП из колбы смывали на фильтр дистиллированной водой. Осадок на фильтре тщательно промывали дистиллированной водой до значения pH 5–7 промывных вод, определяемой по универсальной индикаторной бумаге.

В работе мы использовали фильтр средней проницаемости «Белая лента» (диаметр пор  $\sim 3$  нм, сопротивление продавливанию во влажном состоянии не менее 6 кПа, фильтрующая способность не более 45 с). Использование фильтра «Синяя лента» (сопротивление продавливанию во влажном состоянии не менее 7 кПа, фильтрующая способность не более 100 с) не целесообразно, так как он является достаточно плотным (диаметр пор  $\sim 1$ – $2,5$  нм), из-за чего время фильтрования значительно увеличивается.

Фильтр с промытым осадком во взвешенном алюминиевом стаканчике, предварительно высушенном в сушильном шкафу до постоянной массы, помещали в сушильный шкаф при температуре  $100\pm 5$  °С на 1 ч. Далее стаканчик с фильтром извлекали из сушильного шкафа, охлаждали от 2 до 3 мин на воздухе, а затем в экскаторе до комнатной температуры и взвешивали. Кон-

трольные высушивание, охлаждение и взвешивание проводили до тех пор, пока разность масс после двух последовательных взвешиваний составляла не более 0,001 г. Все взвешивания проводили с точностью до 0,001 г.

Массовую долю механических примесей  $x$ , %, вычисляли по формуле:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса стаканчика вместе с бумажным фильтром и механическими примесями, г;  $m_2$  – масса стаканчика вместе с подготовленным бумажным фильтром, г;  $m$  – масса ГП, взятого на испытание, г; 100 – множитель для выражения результата в процентах.

За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов двух параллельных определений.

Исходные данные для оценивания показателей прецизионности МВИ, полученные в ходе эксперимента, представлены в табл. 1, из которой следует, что явных промахов при проведении измерений нет.

**Таблица 1. Результаты определения массовой доли механических примесей гравиметрическим методом в ГП «Гидрогумин», %**

Номер испытания	Номер лаборатории				
	Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
5	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
6	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
7	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
8	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
9	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
10	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
11	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
12	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
14	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
15	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
16	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05

Примечание. Л 1 – Научно-исследовательская аналитическая лаборатория Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства при БГАТУ; Л 2 – Лабораторно-аналитический исследовательский центр РУП «Институт почвоведения и агрохимии»; Л 3 – Лаборатория агроэкологии Института природопользования; Л 4 – Испытательная лаборатория отдела изысканий и проектирования открытых горных разработок РУП Белниитоппроект»; Л 5 – Центральная лаборатория филиала РУП «Белгео».

Дальнейшие определения показателей точности измерений определялись в соответствии с требованиями [2].

Результаты проверки стандартного отклонения результатов полученных измерений на

наличие разбросов и статистических выбросов по критерию Кохрена представлены в табл. 2. Поскольку выполняется условие  $C_i \leq C_{cr}$  ( $v = 16, f = 5, P = 95\%$ ), то представленная группа результатов измерений считается корректной.

**Таблица 2. Проверка по критерию Кохрена на наличие разбросов и статистических выбросов**

Стандартные отклонения $S_{ij}$ , %					Статистика Кохрена $C_j$	$C_{cr}$ ( $v = 15$ ; $f = 4$ ; $P = 95\%$ )	$C_{cr}$ ( $v = n_{jk}-1$ ; $f = p$ ; $P = 95\%$ )	Вывод	
Номер лаборатории									
Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5					
0,0106	0,0102	0,0082	0,0077	0,0057	0,299	0,3645	0,4090	Результат корректный	

Проверка средних значений результатов групп измерений на наличие разбросов и статистических выбросов по критерию Граббса также подтвердила отсутствие разбросов или статистических выбросов (табл. 3).

**Таблица 3. Проверка по критерию Граббса на наличие разбросов и статистических выбросов средних значений измерений**

Показатель	Средние значения $\bar{x}_j$ и $s_j$					$G_j$ для $(\bar{x}_j)_{max}$ , $(\bar{x}_j)_{min}$					$G_{cr}(p = 5)$		Вывод		
						max и min значения					99%	95%			
	Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5	Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5					
$\bar{x}_j$	0,039	0,04	0,04	0,04	0,039	$(\bar{x}_j)_{max}$					1,764	1,715	Результат корректный		
						1,660	1,658	1,172	1,035	1,580					
$s_j$	0,012	0,012	0,009	0,009	0,007	$(\bar{x}_j)_{min}$					0,755	0,829	1,172	1,173	1,394

Аналогичные МСИ по определению массовой доли механических примесей были проведены для ГП типа «Оксидат торфа», «Гидрогумат», «Гидрогумин», «Гумовет» и др. Показатели точности измерений также определялись в соответствии с требованиями [2]. Для всех полученных измерений по критерию Кохрена и критерию Граббса установлена корректность результатов (Отчет заключ. «Создать научно-методическую базу для сертификационной оценки качества продукции, производимой на основе торфа для сельского хозяйства и охраны окружающей среды» / Институт природопользования ; рук. темы Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов. Минск, 2013. № ГР 20122617).

Представленные данные позволили разработать математическую модель определения массовой доли механических примесей, которая выглядит следующим образом:

$$X = X_{ind} + C_{ci} + C_{sub} + C_{met} + C_{usl}, \quad (2)$$

где  $X_{ind}$  – точечная оценка измеряемой величины (массовой доли механических примесей);  $C_{ci}$  – поправка, обусловленная несовершенством используемых средств измерений;  $C_{sub}$  – поправка, обусловленная особенностями оператора;  $C_{met}$  – поправка, обусловленная несовершенством метода измерения;  $C_{usl}$  – поправка, обусловленная несоответствием условий измерения нормальным.

Входные величины  $X_{ind}$ ,  $C_{ci}$ ,  $C_{sub}$ ,  $C_{met}$ ,  $C_{usl}$  могут в свою очередь зависеть от других величин, включая поправки и поправочные коэффициенты на систематические эффекты. Все входные величины, вовлеченные в процесс измерения, рассматриваются как некоррелированные.

Так как массовая доля механических примесей определяется по формуле, то выделим неопределенности, влияющие на данные параметры. Анализ входных величин и оценка их неопределенности приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Анализ входных величин определения массовой доли механических примесей в жидких ГП**

Входная величина	Характеристика
Входная величина: $u(m)$ – поправка, обусловленная техническим несовершенством весов лабораторных общего назначения по ГОСТ 24104 высокого класса точности при измерении массы препарата, взятой на анализ	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: равномерное Значение оценки: 0, г Стандартная неопределенность: $u(m) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$ г
$\Delta$ – предел допустимой погрешности взвешивания весов ВЛ Э134-М 3 мг. В предположении равномерного распределения величины в пределах $\pm \Delta$ стандартная неопределенность находится по формуле $u(m) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$ г	

#### **Окончание табл. 4**

Входная величина	Характеристика
Входная величина: $u_1(m_1)$ – поправка, обусловленная техническим несовершенством весов лабораторных общего назначения по ГОСТ 24104 высокого класса точности при измерении массы алюминиевого стаканчика вместе с бумажным фильтром и механическими примесями	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: равномерное Значение оценки: 0, г Стандартная неопределенность: $u_1(m_1) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} g$
$\Delta$ – предел допустимой погрешности взвешивания весов ВЛ Э134-М 3 мг. В предположении равномерного распределения величины в пределах $\pm\Delta$ стандартная неопределенность находится по формуле $u_1(m_1) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} g$	
Входная величина: $u_2(m_1)$ – поправка, обусловленная возможными отклонениями массы алюминиевого стаканчика вместе с бумажным фильтром и механическими примесями после высушивания, когда масса будет являться действительно таковой и ее значение будет величиной постоянной	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: равномерное Значение оценки: 0, г Стандартная неопределенность: $u_2(m_1) = \frac{0,001}{\sqrt{3}} g$
0,001 следует из того, что разность между двумя последовательными взвешиваниями, проведенными через 15 минут не превышает 0,001 г. В предположении равномерного распределения величины в пределах $\pm\Delta$ стандартная неопределенность находится по формуле $u_2(m_1) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} g$	
Входная величина: $u_1(m_2)$ – поправка, обусловленная техническим несовершенством весов лабораторных общего назначения по ГОСТ 24104 высокого класса точности при измерении массы алюминиевого стаканчика вместе с подготовленным бумажным фильтром	Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: равномерное Значение оценки: 0, г Стандартная неопределенность: $u_1(m_2) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} g$
$\Delta$ – предел допустимой погрешности взвешивания весов ВЛ Э134-М 3 мг. В предположении равномерного распределения величины в пределах $\pm\Delta$ стандартная неопределенность находится по формуле $u_1(m_2) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} g$	
Входная величина: $u_2(m_2)$ – поправка, обусловленная возможными отклонениями массы алюминиевого стаканчика вместе с подготовленным бумажным фильтром после высушивания когда масса будет являться действительно таковой и ее значение будет величиной постоянной	Вид распределения: равномерное Значение оценки: 0, г Стандартная неопределенность: $u_2(m_2) = \frac{0,001}{\sqrt{3}} g$
0,001 следует из того, что разность между двумя последовательными взвешиваниями, проведенными через 15 минут не превышает 0,001 г. В предположении равномерного распределения величины в пределах $\pm\Delta$ стандартная неопределенность находится по формуле $u_2(m_2) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} g$	Тип оценивания неопределенности: В

Коэффициенты влияния неопределенностей определяли по формулам

$$C_{m1} = \frac{100}{m}, \quad C_{m2} = \frac{m_1 - m_2}{m^2} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Неопределенность массовой доли механических примесей находили из выражения

$$u(C) = \sqrt{(C_m u_m)^2 + (C_{m3} u_{1m3})^2 + (C_{m3} u_{2m3})^2 + (C_{m4} u_{1m4})^2 + (C_{m4} u_{2m4})^2}. \quad (4)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5.

### **Таблица 5. Бюджет неопределенности**

Относительную суммарную стандартную неопределенность  $\frac{u_c(x)}{x}$  определяли по формуле

$$\frac{u_c(x)}{x} = 100 \sqrt{\sigma_R^2 - \frac{\sigma_r^2}{2} + \left[ \frac{u(x)}{x} \right]_{\max}^2}. \quad (5)$$

Относительную расширенную стандартную неопределенность рассчитывали из уравнения

$$U = \frac{2u_c(x)}{x}. \quad (6)$$

Исходные данные для оценивания относительных стандартных неопределенностей массовой концентрации механических примесей в образцах для проведения эксперимента приведены в табл. 6.

**Таблица 6. Данные для оценивания относительных стандартных неопределенностей массовой концентрации механических примесей в образцах для проведения эксперимента**

$\sigma_R^2, \%$	$\sigma_r^2, \%$	$\left[ \frac{u(X)}{X} \right]_{\max}^2, \%$	$\frac{u_c(x)}{x}, \%$	$U, \%$
2401	2304	$7,15 \cdot 10^{-5}$	35	70

Результаты измерения массовой доли механических примесей можно представить в виде

$$C = (\underline{\quad} \pm U) \% \quad (k = 2, p = 95\%) \quad (7)$$

или  $C = (\underline{\quad} \pm U) \%,$

где число, следующее за знаком  $\pm$ , является численным значением расширенной неопределенности  $U = k u_c(c)$  причем  $U$  определено из суммарной стандартной неопределенности  $u_c(c) = \underline{\quad} \%$  и коэффициента охвата  $k = 2$ , основанного на нормальном распределении, и определяет интервал, оцененный как имеющий уровень доверия 95 %.

Таким образом, данные МСИ, проведенных в пяти различных лабораториях, с использованием данных математической статистики (критерии Кохрена и Граббса) показали высокую точность и воспроизводимость МВИ по определению массовой доли механических примесей в ГП. Диапазон измерений МВИ составляет от 0 до 12 %, так как ГП с более высоким содержанием механических примесей использовать нецелесообразно. Абсолютная погрешность в указанном диапазоне измерений составляет от 0,2 до 1 % при  $P = 0,95$  от определяемой величины. Полученные данные позволили аттестовать МВИ «Методика определения массовой доли механических примесей в препаратах гуминовых жидкостей» в системе БелГИМ [5].

## Литература

1. Гаврильчик, А. П. Превращения торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. – Минск, 1992.
2. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.
3. Горовая, А. И. Гуминовые вещества / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. – Киев, 1995.
4. Ефанов, М. В. Окислительный аммонолиз торфа в условиях кавитационной обработки / М. В. Ефанов, В. А. Новоженов, В. Н. Франківский // Химия растительного сырья. 2010. – № 1. – С. 165–169.
5. МВИ. МН 4766-2013 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Методика определения массовой доли механических примесей в препаратах гуминовых жидкостей. Свидетельство № 803/2013 от 30.10.2013.
6. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск, 1987.
7. Применение комплексных гуминовых микроудобрений «Элегум» : рекомендации / М. В. Рак, В. В. Лапа, Г. А. Соколов / Ин-т природопользования, Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2013.
8. Христева, Л. А. Применение гумата натрия в качестве стимулятора роста / Л. А. Христева, В. А. Реутов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 1973. – Т. 4. – С. 308–310.
9. Христева, Л. А. Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения: теория и практика их применения. – Харьков, 1957. – С. 75–93.

10. Якименко, О. С. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации / О. С. Якименко, В. А. Терехова // Почвоведение. 2011. – № 11. – С. 1334–1343.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,  
<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Поступила в редакцию 29.07.2014 г.

**С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, К. А. Павлов, Ю. Б. Спесивцева**

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
МАССОВОЙ ДОЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ЖИДКИХ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТАХ**

Проанализированы результаты межлабораторных сличительных исследований по определению массовой доли механических примесей в жидких гуминовых препаратах с использованием данных математической статистики (критерии Кохрена и Граббса). Показана корректность всех проведенных измерений. Полученные данные позволили аттестовать МВИ «Методика определения массовой доли механических примесей в препаратах гуминовых жидкых» в системе БелГИМ. Диапазон измерений МВИ составляет от 0 до 12 %. Абсолютная погрешностью в указанном диапазоне измерений от 0,2 до 1 % при  $P = 0,95$ .

**S. I. Kovrik, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov, K. A. Pavlov, U. B. Spesivtseva**

**THE ESTIMATION OF PRECISION INDICATORS OF THE TECHNIQUE METHOD OF DEFINITION  
OF THE MASS FRACTION OF MECHANICAL IMPURITY IN LIQUID HUMIC PREPARATIONS**

The results of interlaboratory collation studies to determine the mass fraction of solids in the liquid humic preparations using the mathematical statistics data (Cochran and Grubbs criteria has been analyzed). The correctness of all conducted measurements has been shown. The data allowed to certify MVI «Methods for determination of mechanical impurities in the liquid humic preparations» in the BelGIM system. The measuring range of MM is between 0 % and 12 %. Absolute error in the specified measurement range is from 0,2 % to 1 % at  $P = 0,9$ .

**Б. В. Курзо<sup>1</sup>, В. К. Жуков<sup>1</sup>, О. М. Гайдукевич<sup>1</sup>, И. В. Кляуззе<sup>1</sup>,  
Д. Э. Кашицкий<sup>2</sup>, Н. И. Счастная<sup>2</sup>**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГУМАТА НАТРИЯ ИЗ ТОРФА И САПРОПЕЛЯ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ДЕРМАТИТА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Рассматриваются результаты исследования влияния щелочной вытяжки гуминовых веществ из смеси низинного осоково-тростникового торфа месторождения Милошевичи и кремнеземистого сапропеля озера Прибыловичи Лельчицкого района на показатели основного обмена у подопытных животных при наружном применении. При аппликации торфосапропелевой гуминовой вытяжки на здоровую кожу подопытных животных установлено достоверное усиление основного обмена, что обусловлено стимулирующим действием препарата, ведущим биологически активным компонентом которого являются гуминовые вещества. При экспериментальном дерматите торфосапропелевая вытяжка оказывает стойкий противовоспалительный эффект, характеризующийся нормализацией кожной температуры, уменьшением толщины кожной складки и отторжением корочки. Испытания позволяют рекомендовать использование препарата в косметологии и для наружного применения в качестве лечебного средства при воспалительных процессах кожи.*

В настоящее время наблюдается прогрессивный рост заболеваемости дерматозами, что связано с широким использованием разнообразных химических веществ в быту и на производстве. Контактные дерматиты по удельному весу занимают четвертое место среди кожных заболеваний [1, 5]. Лечебные грязи из торфа и сапропеля и получаемые из них продукты являются важными компонентами комплексного лечения пациентов различного профиля, во многом определяющими его эффективность и экономичность [3, 7–11]. Кроме того, сведения о физиологическом и лечебном действии торфа и сапропеля чрезвычайно важны и для развития санаторно-курортного дела в Беларуси, поскольку основу лечения, реабилитации и оздоровления в санаториях и учреждениях отдыха составляет рациональное применение лечебных грязей.

На актуальность поиска новых эффективных бальнеологических и лечебных средств природного происхождения серьезный отпечаток накладывает ресурсный фактор, так как в современных рыночных условиях доступность сырья наряду с фармакологическими свойствами в конечном итоге определяет спрос на предлагаемый препарат. С данной точки зрения внимания заслуживают широко распространенные в Беларуси ресурсы торфа и сапропеля.

Известен способ лечения больных хроническими дерматозами (псориаз, нейродермит, экзема, кожный зуд, склеродермия и др.) препаратом, полученным из торфа [6]. На примере сибирского сапропеля разработана лекарственная форма на основе гумата натрия и дана оценка ее фармакологических свойств [4].

В качестве сырья для приготовления щелочной вытяжки гуминовых веществ использова-

ли кремнеземистый сапропель озера Прибыловичи Лельчицкого района Гомельской области зольностью 34,7–48,9 % на сухое вещество (СВ). Среднее содержание оксидов в сапропеле следующее: кремний 20,9 % на СВ, алюминий – 2,9, железо – 7,4, кальций – 1,9, сера – 0,35, фосфор – 0,6, калий – 0,34 % на СВ. Содержание общего азота 2,4 %. В сырьевую смесь включали тростниково-осоковый низинный торф расположенного рядом торфяного месторождения Милошевичи зольностью 14 % на СВ. Среднее содержание макроэлементов в торфе следующее: кремний 5,9 %, алюминий – 1,2, железо – 2,0, кальций – 2,6, сера – 1,1, фосфор – 0,15, калий – 0,25 %. Среднее содержание общего азота в торфе составило 1,45 %.

Определение общей активности естественных радионуклидов и удельной активности Cs-137 в результате радиометрического анализа торфа и сапропеля естественной влажности показало низкие значения параметров: 18,5 и 16,0 Бк/кг для общей активности соответственно и менее 3,7 Бк/кг для активности радиоцезия.

Определение микроэлементов на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «Optima 3000 DV» в ГУ «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды» показало, что сапропель заметно обогащен многими элементами (см. таблицу).

Методом щелочной экстракции (обработка 2 %-ным раствором NaOH) из торфа в раствор переходит около 51 % вещества на сухую массу в виде солей гуминовых, фульвовых и гиматомелановых кислот. В тех же условиях из сапропеля выделено около 40 % гуминоподобных веществ.

**Содержание микроэлементов в кремнеземистом сапропеле озера Прибыловичи и торфе торфяного месторождения Милошевичи, мг/кг сух. в-ва**

Порода	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Mo	Se
Торф	6,7	269	2,0	7,2	20,1	15,1	0,23	13,5	0,55	1,5
Сапропель	8,7–14,6	488–642	4,1–18,2	17,2–28,2	6,8–7,1	25,2–114,8	0,1–0,24	1,8–3,0	0,6–1,0	0,6–1,6

Выделенный щелочной препарат гуминовых веществ из смеси торфа и сапропеля представляет собой однородную жидкость темно-коричневого цвета, не содержащую посторонних примесей. Подбором сырьевой смеси с определенным количеством торфа и сапропеля получали концентрацию сухого вещества в препарате не менее 40 г/л. Предполагается наружное применение щелочной вытяжки (экстракта) в профилактическо-оздоровительных целях, а также в качестве ингредиентов для косметической продукции.

Основной обмен – это минимальные для бодрствующего организма затраты энергии, определенные в строго контролируемых стандартных условиях. Интенсивность обмена веществ и энергии может быть определена прямыми и непрямыми методами. В исследованиях применяли непрямой калориметрический метод, который основан на том, что источником энергии в организме являются окислительные процессы, при которых потребляется кислород и выделяется углекислый газ. Поэтому, исследуя газообмен, можно оценивать основной обмен в организме. Чаще всего определяют количество потребленного  $O_2$  и выделенного  $CO_2$  за определенное время.

Объем  $O_2$  – наиболее надежный и воспроизводимый показатель для оценки основного обмена и работоспособности организма. Этот показатель измеряется непосредственно путем регистрации концентрации кислорода в дыхательной смеси. Повышение уровня потребления  $O_2$  косвенно свидетельствует об активации гемодинамики и микроциркуляции, восстановлении межсистемного отношения между функциональными системами организма, усилении афферентации в центральных структурах мозга и тем самым изменении характера регуляторных влияний со стороны центральной и периферической нервной системы, обеспечении системной коррекции гуморального транспорта внутренних органов.

Кожный покров является одним из основных элементов, от которых зависит здоровье организма в целом. Все его сегменты непосредственно связаны с внутренними органами организма и выполняют множество важных функций. Основными из них являются защитная, дыхательная, абсорбционная (всасывательная), выделительная, пигментообразующая. Кроме того, кожа принимает участие в сосудистых реакциях, терморегуляции, обменных процессах, нервно-рефлекторных реакциях организма [5].

Исследования основного обмена проведены на 24 половозрелых беспородных крысах-самцах, средний вес которых составлял 220–250 г. Моделирование экспериментального дерматита вызывали путем однократной подкожной инъекции 0,2 мл терпентинного масла на предварительно депилированном участке спины животных [2].

Для определения исходного уровня состояния основного обмена у экспериментальных животных до начала курса, а затем после 5 и 10 процедур с применением торфосапропелевого гуминового препарата методом непрямой калориметрии исследовали показатели основного обмена: потребление кислорода ( $VO_2$ , мл/ч), продукцию углекислого газа ( $VCO_2$ , мл/ч), теплоизлучение (heat-ккал/ч). Указанные параметры регистрировали с помощью системы мониторинга метаболизма MM-100 фирмы «Columbus Instr.», USA. Во время эксперимента животных помещали в специальные прозрачные пластиковые камеры, плотно закрытые крышками, через отверстия в которых по воздуховодам идет поток свежего воздуха. Подобные измерения проводили в период наименьшей физической активности (в покое), поэтому регистрацию показателей начинали после того, как животные адаптировались к камере. Затем прибор калибровали и регистрировали показатели основного обмена в течение 5 мин. в каждой камере поочередно. Для мониторинга концентрации  $O_2$  в MM-100 использовали парамагнитный сенсор высокого разрешения. Продукцию  $CO_2$  измеряли терморегулируемым инфракрасным анализатором малого радиуса действия. Поток воздуха в камере определяли термальным масс-флуориметром. Все измерения конвертировались в цифровую форму, а итоговые значения  $VO_2$  и  $VCO_2$  обрабатывали с помощью программы MMCOMM. Показатели метаболизма, рассчитанные программой MMCOMM, корректировали в соответствии со значениями температуры и атмосферного давления.

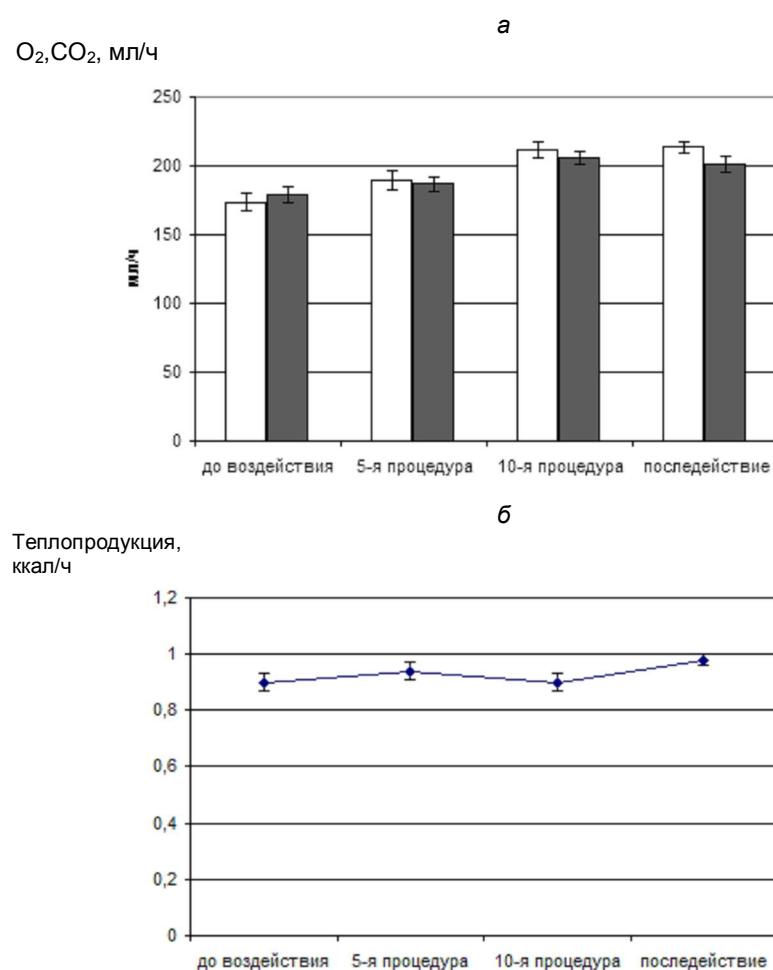
Компьютерную и статистическую обработку полученных данных выполняли с помощью *t*-критерия Стьюдента и программы вариационной статистики ANOVA.

Для оценки влияния торфосапропелевой гуминовой вытяжки на показатели метаболизма в физиологических условиях и течение воспалительного процесса при экспериментальном дерматите подопытные животные разделены на 3 группы по 8 животных в каждой: 1-я группа – животные с экспериментальным дерматитом, получавшие аппликации торфосапропелевой

вытяжки; 2-я группа – животные, которым проводили аппликации вытяжки на здоровую кожу. Контрольную группу составили животные со здоровой кожей без применения аппликаций. Животным 1-й и 2-й групп накладывали аппликации торфосапропелевой вытяжки, экспозиция 15 мин, курс – 10 процедур.

Через сутки после подкожной инъекции терпентинного масла у всех животных появились умеренная гиперемия, отек тканей и повышение кожной температуры, подтверждавшие развитие контактного дерматита. К 3-му дню заболевания отмечали образование геморрагической корки и увеличение толщины кожной складки.

У животных, которым проводили аппликации на здоровую кожу (2-я группа), после 10 дней применения вытяжки наблюдалась активация метаболизма (рис. 1). Об усилении основного обмена у животных этой группы после 10 процедур свидетельствуют следующие показатели: потребление  $O_2$  увеличилось на 18 % – от  $173,7 \pm 6,5$  до  $212,1 \pm 5,8$  мл/ч, продукция  $CO_2$  возросла на 12,4 % – от  $179,4 \pm 5,9$  до  $205,6 \pm 6,3$  мл/ч, теплопродукция –  $0,90 \pm 0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ). Уровень показателей основного обмена оставался повышенным в течение 5 дней после курсового применения (последействие).



**Рис. 1. Потребление кислорода, продукция углекислого газа (а) и изменение теплопродукции (б) при применении торфосапропелевой вытяжки у здоровых животных.**  
На рис. 1–3 белый столбик – уровень  $O_2$ , серый – уровень  $CO_2$

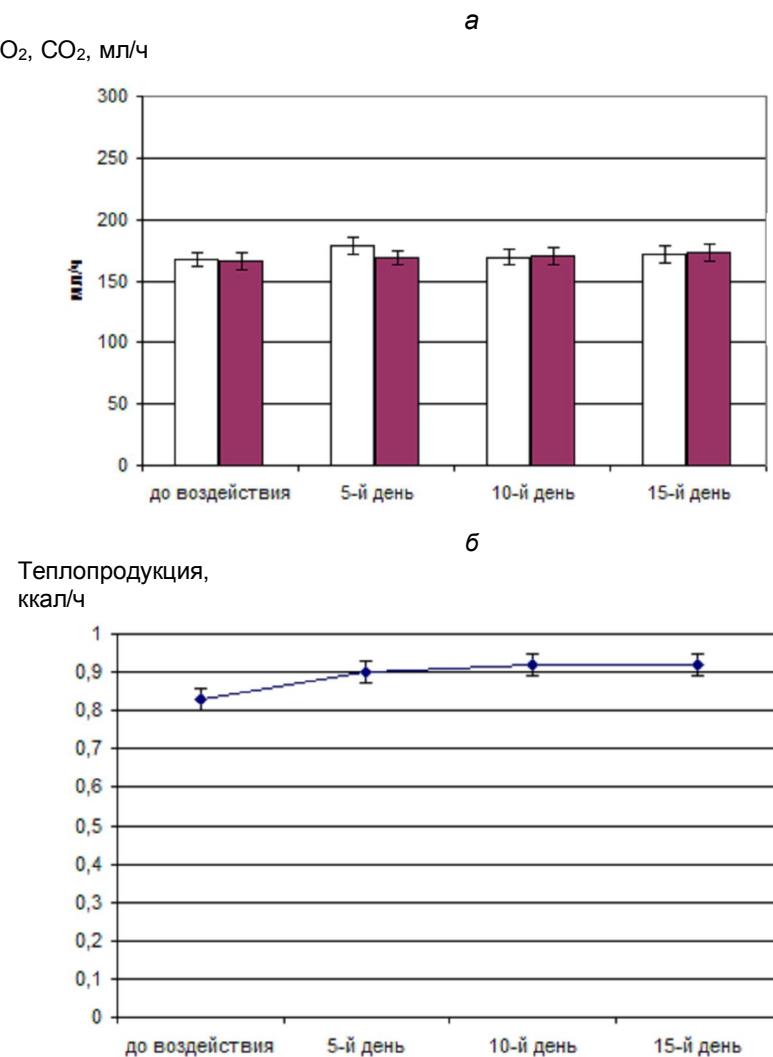
В контрольной группе показатели основного обмена на протяжении всего эксперимента сохранились на одном уровне: до воздействия уровень  $O_2$  –  $176,1 \pm 5,4$  мл/ч;  $CO_2$  –  $166,1 \pm 6,9$  мл/ч; теплопродукция –  $0,83 \pm 0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ). На 5-й день показатели составили:  $O_2$  –  $178,4 \pm 6,7$  мл/ч;  $CO_2$  –  $169,1 \pm 5,6$  мл/ч; теплопродукция –  $0,9 \pm$

$0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ); на 10-й день:  $O_2$  –  $169,9 \pm 6,8$  мл/ч;  $CO_2$  –  $170,3 \pm 7,2$  мл/ч; теплопродукция –  $0,92 \pm 0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ); на 15-й день  $O_2$  –  $171,4 \pm 7,4$  мл/ч;  $CO_2$  –  $173,1 \pm 6,8$  мл/ч; теплопродукция –  $0,90 \pm 0,03$  ккал/ч (рис. 2).

После пятидневного применения торфосапропелевой гуминовой вытяжки показатели ос-

новного обмена у животных с экспериментальным дерматитом незначительно повысились: потребление  $O_2$  увеличилось на 7 % – от  $166,7 \pm 6,5$  до  $179,6 \pm 6,2$  мл/ч ( $p < 0,05$ ); выделение  $CO_2$  – на 11 % – от  $160,9 \pm 5,9$  до  $180,5 \pm 5,6$  мл/ч ( $p < 0,05$ ); теплопродукция – от  $0,90 \pm 0,03$  до  $0,94 \pm 0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ) (рис. 2). После 10 процедур наблюдалось достоверное увеличение  $O_2$  до  $218,6 \pm 5,8$  мл/ч (на 23,7 %) ( $p < 0,05$ ), продукции

$CO_2$  до  $205,6 \pm 4,9$  мл/ч (на 21 % выше начального уровня) и теплопродукции –  $1,00 \pm 0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ). Через 5 дней после окончания курсового воздействия показатели метаболизма оставались повышенными: потребление  $O_2$  –  $216,8 \pm 5,4$  мл/ч, продукция  $CO_2$  –  $201,3 \pm 5,8$  мл/ч, теплопродукция –  $0,98 \pm 0,03$  ккал/ч ( $p < 0,05$ ) (рис. 3).

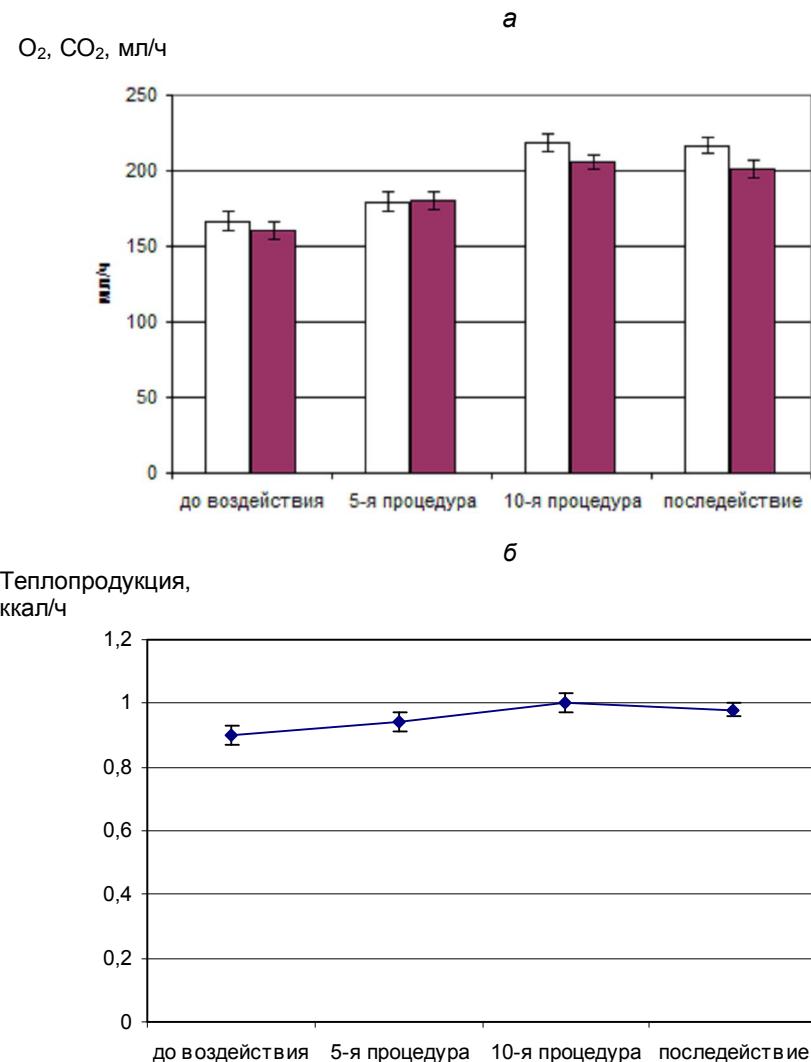


**Рис. 2. Потребление кислорода, продукция углекислого газа (а) и изменение теплопродукции (б) без применения торфосапропелевой вытяжки у контрольных животных**

Анализ полученных результатов показал, что под влиянием торфосапропелевой вытяжки к 10-му дню достигается значительный рост потребления  $O_2$  и выделения  $CO_2$ . Эти показатели сохраняются повышенными и через 5 дней после курсового воздействия.

В течение всего курса применения исследованного препарата из торфа и сапропеля у жи-

вотных отмечено достоверное увеличение потребления кислорода, продукции углекислого газа и теплопродукции, что свидетельствует об активации процессов основного обмена. Такой эффект обусловлен стимулирующим действием торфосапропелевой вытяжки, основным биологически активным компонентом которой являются гуминовые вещества.



**Рис. 3. Потребление кислорода, продукция углекислого газа (а) и изменение теплопродукции (б) при применении торфосапропелевой вытяжки при экспериментальном дерматите**

Таким образом, по результатам изучения интенсивности обмена энергии непрямым методом при аппликации торфосапропелевой гуминовой вытяжки на здоровую кожу подопытных животных установлено достоверное усиление основного обмена, что обусловлено стимулирующим действием препарата, основным биологически активным компонентом которой являются гуминовые вещества. Такое действие позволяет рекомендовать его использование в косметологии.

При экспериментальном дерматите торфосапропелевая вытяжка оказывает стойкий противовоспалительный эффект, характеризующийся нормализацией кожной температуры, уменьшением толщины кожной складки и от-

торжением корочки. На основании проведенных экспериментальных исследований торфосапропелевая вытяжка рекомендуется для наружного применения при воспалительных процессах кожи.

Выполненные исследования является основой для проведения дальнейших гигиенических и клинических испытаний выделенного из торфосапропеля гуминового препарата с целью выявления перспективного комплекса биологически активных веществ и создания на его основе лекарственного средства для лечения заболеваний кожи. Проведение клинических испытаний позволит определить показания и противопоказания к использованию препарата в широкой медицинской практике.

### Л и т е р а т у р а

1. Аллергические болезни у детей / под ред. М. Я. Студеникина, И. И. Балаболкина. – М., 1998.
2. Воспроизведение заболеваний у животных для экспериментально-терапевтических исследований / под ред. Н. В. Лазарева. – Л., 1954.
3. Инструкция по использованию сапропелевых лечебных грязей для оздоровления и санаторно-курортного лечения / Б. В. Курзо [и др.]. Утв. Респ. центром по оздоровлению и санат.-курортн. лечению населения 19.06.2008. – Минск, 2008.
4. Карбышев, А.В. Химико-фармакологическое изучение гумата натрия из сапропеля : дис. ... канд. фармацевт. наук : 15.00.02 / А. В. Карбышев. – Томск, 1999.
5. Кожа (строение, функция, общая патология и терапия) / под ред. А. М. Чернуха, Е. П. Фролова. – М., 1982.
6. Козин, В. М. Препарат биологически активный «Оксидат торфа» в лечении псориаза и аллергодерматозов: способы бальнеотерапии (инструкция на метод) / В. М. Козин, Э. С. Кашицкий. – Минск, 1998.
7. Курзо, Б. В. Проблема расширения использования лечебных сапропелей в бальнеологической практике / Б. В. Курзо, Э. С. Кашицкий, Г. Д. Ситник // Современные методы физиотерапии : материалы Респ. науч.-практ. конф. – Минск, 2008. – С. 13–18.
8. Курорты и рекреация в Беларуси / М. Г. Ясовеев [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Могилев, 2005.
9. Малькевич, Л. А. Возможности использования экстракта сапропелевых грязей и кинезотерапии в восстановительном лечении больных с заболеваниями суставов / Л. А. Малькевич // Природные курортные факторы Беларуси : сб. науч. ст. – Минск, 2009. – С. 182–186.
10. Перспективы использования сапропелевых лечебных грязей в санаторно-оздоровительных учреждениях / Б. В. Курзо [и др.] // Современные проблемы курортной терапии: материалы Респ. науч.-практ. конф. – Гродно, 2010. – С. 34–39.
11. Сравнительная оценка месторождений сапропелевых лечебных грязей / Б. В. Курзо [и др.] // Природные курортные факторы Беларуси : сб. науч. ст. – Минск, 2009. – С. 158–164.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Институт физиологии НАН Беларуси

Поступила в редакцию 8.08.2014 г.

**Б. В. Курзо, В. К. Жуков, О. М. Гайдукевич,  
И. В. Кляуззе, Д. Э. Кашицкий, Н. И. Счастная**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГУМАТА НАТРИЯ ИЗ ТОРФА И САПРОПЕЛЯ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ДЕРМАТИТА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Приведены результаты исследования показателей основного обмена у подопытных животных при наружном применении вытяжки гуминовой природы из смеси кремнеземистого сапропеля озера Прибыловичи и залегающего рядом низинного осоково-тростникового торфа Лельчицкого района. В исследованиях основного обмена применяли непрямой калориметрический метод. Установлено, что методом щелочной экстракции (обработка 2 %-ным раствором NaOH) из торфа в раствор переходит около 51 % вещества на сухую массу в виде солей гуминовых, фульвовых и гиматомелановых кислот. В тех же условиях из сапропеля выделено около 40 % гуминоподобных веществ.

В результате изучения интенсивности обмена энергии непрямым методом при аппликации торфосапропелевой гуминовой вытяжки на здоровую кожу подопытных животных установлено достоверное усиление основного обмена, что обусловлено стимулирующим действием препарата, основным биологически активным компонентом которого являются гуминовые вещества. При экспериментальном дерматите торфосапропелевая вытяжка оказывает стойкий противовоспалительный эффект, характеризующийся нормализацией кожной температуры, уменьшением толщины кожной складки и отторжением корочки.

Проведенные испытания позволяют рекомендовать использование препарата в косметологии и для наружного применения в качестве лечебного средства при воспалительных процессах кожи.

B. V. Kurzo, V. K. Zhukov, O. M. Gajdukevich,  
I. V. Kljayzze, D. E. Kashickij, N. I. Schastnaja

**THE USE OF SODIUM HUMATE FROM PEAT AND SAPROPEL  
IN DERMATITIS TREATMENT: RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES**

*The results of the study of basal metabolism on laboratory animals when used externally hoods humic nature of a mixture of siliceous sapropel of Pribylovichi Lake and fen peat-cane of Lelchits area which is near. The indirect colorimetric method has been used in studies of basal metabolism. It has been established that by the alkaline extraction method (treatment 2 % solution of NaOH) the peat transferring into a solution is about 51 % on dry weight in the form of salts of humic, fulvic acids and HMA. About 40 % of the humic substances are allocated from sapropel under the same conditions.*

*As the result of studying the intensity of the exchange energy by indirect method when applied peat-sapropel humic hoods on healthy skin of experimental animals the significant enhancement of basal metabolism, due to stimulating effect of the drug, the main biologically active component of which is the humic substances has been found. During experimental dermatitis the sapropelic peat extractor provides lasting anti-inflammatory effect, characterized by normalization of skin temperature, decreasing the thickness of skin folds and rejection crust.*

*These tests allow recommending the use of the drug in cosmetics and for external use as a therapeutic agent in inflammatory processes of the skin.*

**Б. В. Курзо<sup>1</sup>, О. М. Гайдукевич<sup>1</sup>, Н. В. Мазур<sup>2</sup>, Д. Э. Кашицкий<sup>3</sup>, Г. Д. Ситник<sup>4</sup>**

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САПРОПЕЛЕВЫХ ЛЕЧЕБНЫХ ГРЯЗЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

*Обобщены данные по ресурсам сапропеля Беларуси. Общие запасы сапропеля в стране составляют около 4 млрд м<sup>3</sup>, из которых 2,7 млрд м<sup>3</sup> сосредоточены в озерах и 1,3 млрд м<sup>3</sup> – под слоем торфа. Охарактеризованы ресурсы сырья для производства сапропелевых лечебных грязей Брестской, Гомельской и Гродненской областей. Показаны лечебные эффекты сапропелегрязелечения на организм человека.*

В настоящее время приоритетным направлением в организации оздоровления и санаторно-курортного лечения населения является использование местных природных факторов: климата, минеральных вод и лечебных грязей. Успешное применение грязей обусловливается имеющейся в Республике Беларусь сырьевой базой.

В соответствии с [2] сапропелевые лечебные грязи – различные типы сапропеля, обладающие лечебным действием на организм человека, удовлетворяющие нормам действующих нормативных документов и пригодные по своим физико-химическим и санитарно-бактериологическим параметрам для применения в лечебно-профилактических целях. Под сапропелем принято понимать осадки пресноводных водоемов, образующиеся из остатков отмерших растительных и животных организмов, минеральных веществ биогеохимического происхождения и принесенных с водосбора минеральных компонентов, имеющие зольность не более 85%. Органическое вещество сапропеля состоит из образований самого озера и пополняется за счет поступлений с водосбора в виде коллоидных растворов, а концентрация минеральных веществ происходит за счет механического осаждения и выпадения из раствора солей под влиянием геохимических процессов. В результате сложных физических, химических и биологических процессов сапропель обогащается помимо органического вещества кальцием, фосфором, серой, микроэлементами и другими биологически активными веществами.

Промышленно-генетическая классификация (ПГК) сапропеля [8] отражает генезис озерных отложений, обосновывает наиболее рациональные области использования выделенных типов и классов с учетом их состава, что позволяет систематизировать разведанные запасы и выделить классы сапропеля, пригодные для использования в бальнеологии. В ПГК выделено четыре типа сапропеля: органический, кремнеземистый, карбонатный и смешанный. Для органического сапропеля верхний предел зольности принят 30 %, для трех остальных – 85 %. В ми-

неральной части кремнеземистого и карбонатного типов сапропеля содержится более 30 % на сухое вещество соответственно  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaCO}_3$ , а сапропель смешанного типа включает названные компоненты в количествах менее 30 % и, кроме того, содержит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В органическом сапропеле преобладают растения-торфообразователи, остатки высших растений, диатомовых, синезеленых и протококковых водорослей [7].

При определении лечебного воздействия лечебных грязей на организм человека важное значение имеет тип сапропеля. Исследования метаболической активности сапропеля позволили выявить ведущую роль преимущественно органических компонентов в их физиологическом и лечебном действии, причем заметное влияние отводится гуминовым кислотам [1]. Данные исследования показали, что водорослевый органический сапропель целесообразно применять для грязелечения больных с заболеваниями желудка, торфосапропель – при лечении заболеваний периферической нервной системы. При исследовании восстановительных процессов в травмированных нервных волокнах с помощью электрофизиологического метода отмечена зависимость влияния сапропеля от его химической характеристики: более выражено оно у кремнеземистого и карбонатного типов сапропеля. Убедительные результаты получены при использовании карбонатного сапропеля в лечении заболеваний периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата. Для грязелечения больных с болезнями желудка целесообразно наряду с органическим использование кремнеземистого сапропеля.

В целях охраны и рационального использования природных ресурсов, удовлетворения потребностей лечебных и санаторно-курортных учреждений в лечебных грязях для оздоровления населения специальным постановлением Правительства республики № 237 от 20 сентября 1990 г. выделено 39 озер, сапропель которых пригоден для применения в медицине. Данные месторождения выявлены при производстве общих поисков, поисково-оценочных работ на са-

пропель, которые проводил Институт торфа АН БССР (ныне Институт природопользования НАН Беларуси) начиная с 1976 г. [6]. На отдельных месторождениях выполнены детальные геологоразведочные работы и утверждены их запасы.

Разведанные запасы сапропеля в озерах республики составляют более 2130 млн м<sup>3</sup> (см. таблицу) [6]. Согласно прогнозным расчетам, в

неисследованных малых озерах сосредоточено 555 млн м<sup>3</sup>. В основном ресурсы сапропеля в озерах сосредоточены в Витебской – 1940 млн м<sup>3</sup> (72 % общих) и Минской – 410 млн м<sup>3</sup> (15 %) областях. Незначительными ресурсами озерного сапропеля располагает Могилевская область – около 30 млн м<sup>3</sup>, или немногим более 1 % общего объема в озерах.

#### Геологические ресурсы сапропеля Беларуси (на 01.08.2014 г.)

Область	Запасы сапропеля, млн м <sup>3</sup>							
	в озерах			под торфом				Всего
	разведенные	прогнозные	общие	предварительно оцененные	на выработанных месторождениях	прогнозные	общие	
Брестская	116,6	3,9	120,5	180,2	56,9	1,0	181,2	301,7
Витебская	1590,6	349,3	1939,9	627,8	302,0	93,0	720,8	2660,7
Гомельская	86,9	3,8	90,7	63,2	43,3	14,3	77,5	168,2
Гродненская	77,3	20,9	98,2	89,5	51,3	2,3	91,8	190,0
Минская	235,3	174,3	409,6	117,8	78,5	9,6	127,4	537,0
Могилевская	26,5	2,9	29,4	48,3	42,1	10,3	58,6	88,0
Всего	2133,2	555,2	2688,4	1126,8	574,2	130,5	1257,3	3945,7

Наиболее обеспеченные запасами сапропелевого сырья районы сосредоточены в Витебской области в зоне последнего поозерского оледенения, а также на севере Минской и на северо-западе Гродненской областей, что связано с большим количеством размещенных здесь относительно глубоких водоемов ледникового происхождения, образованных в послепедниковое время. В озерах превалирует кремнеземистый тип сапропеля, запасы которого в республике составляют 1720 млн м<sup>3</sup>, или 64 % от общих. Особенno велика доля кремнеземистого сапропеля в озерах Гомельской, Витебской и Минской областей – 76, 73 и 39 % соответственно. Незначительный объем занимает органический сапропель – 20 % от общего, малый – смешанный (9 %) и карбонатный (7 %). Следует отметить, что в озерах Брестской и Могилевской областей органический сапропель преобладает в типологической структуре запасов и составляет 72,3 млн м<sup>3</sup> (60 % общих запасов по области) в первой и 13,8 млн м<sup>3</sup> (47 %) во второй области. В озерах Гродненской области превалирует карбонатный сапропель – 40 % общих ресурсов, или 39,3 млн м<sup>3</sup>.

Состав ресурсов сапропеля на торфяных месторождениях (т.м.) более сбалансирован по типам [4, 5]. Если рассматривать всю территорию республики, то на кремнеземистый сапропель приходится 32 % общих ресурсов сапропелевого сырья под торфом, на органический – 29, карбонатный – 27 и смешанный – 12 %. Ровный типологический состав объясняется большим содержанием органического вещества в погребенном сапропеле Витебской области, имеющего преимущественно торфянистый генезис, и наличием повышенных количеств карбонатного материала. Равномерное распределение кремнеземистого,

органического и карбонатного типов сапропеля отмечается на т.м. Могилевской и Минской областей. Для погребенного сапропеля Брестской и особенно Гродненской области характерно заметное преобладание карбонатного типа. На территории последнего региона выявлена идентичность в соотношении типов сапропеля озер и т.м., что не характерно для остальных областей. В Гомельской области как в озерах, так и под торфом преобладает кремнеземистый сапропель – 45 % общих ресурсов, а на т.м. Витебской области основным типом сапропеля является органический, запасы которого составляют около 260 млн м<sup>3</sup>, или 36 % общих запасов.

Расположение месторождений в труднодоступных местах обуславливает определенные сложности их освоения [4]. Институтом природопользования НАН Беларуси предложены технологии добычи сапропеля, которые основаны на применении как типового, так и специального оборудования. Технологичнее извлекать сапропель с помощью поточного гидромеханизированного способа. В этом случае сапропель для транспортирования на берег по трубам разбавляется дополнительным количеством воды. Превращение такой сапропелевой пульпы в готовый продукт сопровождается удалением излишка воды, что представляет собой известные трудности, особенно при высоком содержании органического вещества. Поэтому для добычи лечебных грязей такой способ не всегда оправдан. Экскаваторно-грейферная технология позволяет извлекать сапропель естественной влажности экскаватором с грейферным рабочим органом, установленным на понтоне. Сапропель загружается в баржу, которая катером подается к причалу для разгрузки в наземный транспорт.

Добыча сапропеля на т.м. может производиться экскаватором или канатным скрепером. Перекрытый слоем торфа сапропель здесь имеет естественную защиту от загрязнений техногенного характера. Освоение месторождений сапропеля, залегающего под слоем торфа, наиболее оправдано с энергетических и экономических позиций.

Сапропель в естественном состоянии содержит большое количество воды, поэтому перевозка его оправдана на расстояние до 25–30 км. Исследования показывают, что практически для каждого санаторно-оздоровительного учреждения на расстоянии 25–30 км существуют потенциально пригодные месторождения лечебных грязей.

Так как сапропель является источником местного органического сырья, освоение его месторождений предусматривает дифференцированный подход к каждому месторождению при выборе перспективных объектов для бальнеологии. К таким объектам отнесены озера, удовлетворяющие действующим нормативным документам на сапропелевое сырье, не имеющие ограничений на добычу сапропеля со стороны природоохранных и рыбохозяйственных органов, с мощностью пласта более 1 м и средними глубинами воды в озерах от 2 до 4 м. Перспективные для разработки сапропеля торфоучастки (или т.м.) имеют площадь распространения озерных отложений 30–70 % и среднюю мощность более 0,5 м. Основные запасы торфа над залежью сапропеля выработаны или сработка их завершается. Из списка перспективных исключены месторождения, на которых при современном уровне развития техники невозможна добыча сапропеля (объекты с большой глубиной воды), а также объекты с незначительными запасами или некондиционными качественными характеристиками сапропелевого сырья.

Лечебная ценность сапропелевых грязей связана с высокой влагоудерживающей способностью (до 85–97 %), тонким механическим составом, низкой минерализацией (водорастворимых солей менее 1 г/л). Высокая влажность, благоприятная окислительно-восстановительная среда, коллоидная структура сапропеля, обилие водорастворимого органического вещества создают оптимальные условия для жизнедеятельности грязевой микробиоты. Микроорганизмы в процессе деструкции органического вещества пелоидов, в свою очередь, обогащают их биологически активными компонентами, обладающими фармакологическим свойством. Микрофлора представлена бактериями, актиномицетами и плесневыми грибами, многие из которых оказывают выраженное антагонистическое действие на ряд условно-патогенных микроорганизмов. В сапропелевых грязях интенсивно протекают процессы разложения азотсодержащих органических соединений с участием аммонифицирующих и денитрирующих микробов. Интенсивность проте-

кация биохимических процессов определяется процессами образования свободного азота и накоплением пиридоксина (витамина В<sub>6</sub>). Аммонификаторы обогащают грязевую среду протеазами, повышают концентрацию минеральных азотистых соединений, способствуют накоплению фосфорной кислоты, которая является физиологически активным веществом, повышают содержание ионов кальция в водной фракции.

Биологическая активность пелоидов связана с их антиокислительными свойствами. Антиокислительный фон сапропелю придают жирорастворимые антиоксиданты фенольной природы – токоферолы – благодаря их способности связывать активные свободные радикалы. Лечебные свойства пелоидов связаны также с гуминовыми кислотами и фракцией битумов, которая объединяет соединения различных классов.

Комплексные исследования последних лет, проведенные Институтом природопользования НАН Беларуси в Брестской, Гомельской и Гродненской областях, позволили выявить месторождения сапропеля, пригодного для использования в бальнеологических целях. Задача выявления месторождений лечебного сапропеля в Минской, Витебской и Могилевской областях – в ближайших перспективных планах.

В Брестской области общие запасы сапропеля оцениваются в 100 млн м<sup>3</sup>. На перспективных для освоения выработанных торфоучастках, где сапропель перекрыт незначительным слоем торфа, запасы его составляют около 60 млн м<sup>3</sup> (рис. 1). Наибольшие запасы сапропеля, пригодного для бальнеологических целей, сосредоточены в центральной и северной частях Брестской области (Ивацевичском и Барановичском районах). Большие ресурсы лечебного сапропеля имеются также на западе области – в Жабинковском и Малоритском районах.

Установлено, что геологические запасы сапропеля в Гомельской области, залегающего в озерах и под торфом, составляют около 137,9 млн м<sup>3</sup>. Разведанные запасы сапропеля области – 126,4 млн м<sup>3</sup>, в том числе залегающие в озерах – 87,3 млн м<sup>3</sup>, залегающие под торфом – 39,1 млн м<sup>3</sup>. В общей структуре запасов преобладает сапропель кремнеземистого (64 %) и органического (13 %) типов.

На территории Гомельской области начиная с 1975 г. построено и действовало шесть объектов по добыче сапропеля. На озерах Червоное и Найда Житковичского района добычу сапропеля производили (на оз. Червоное до настоящего времени) гидромеханизированным способом, на оз. Дикое Петриковского района – грейферным, на оз. Святое (д. Турск) Рогачевского района – ковшово-элеваторным и на торфоучастке Севки Лоевского района – экскаваторным способами. Всего за период освоения ресурсов сапропеля в 1985–2011 гг. из озер добыто около 1,3 млн т.

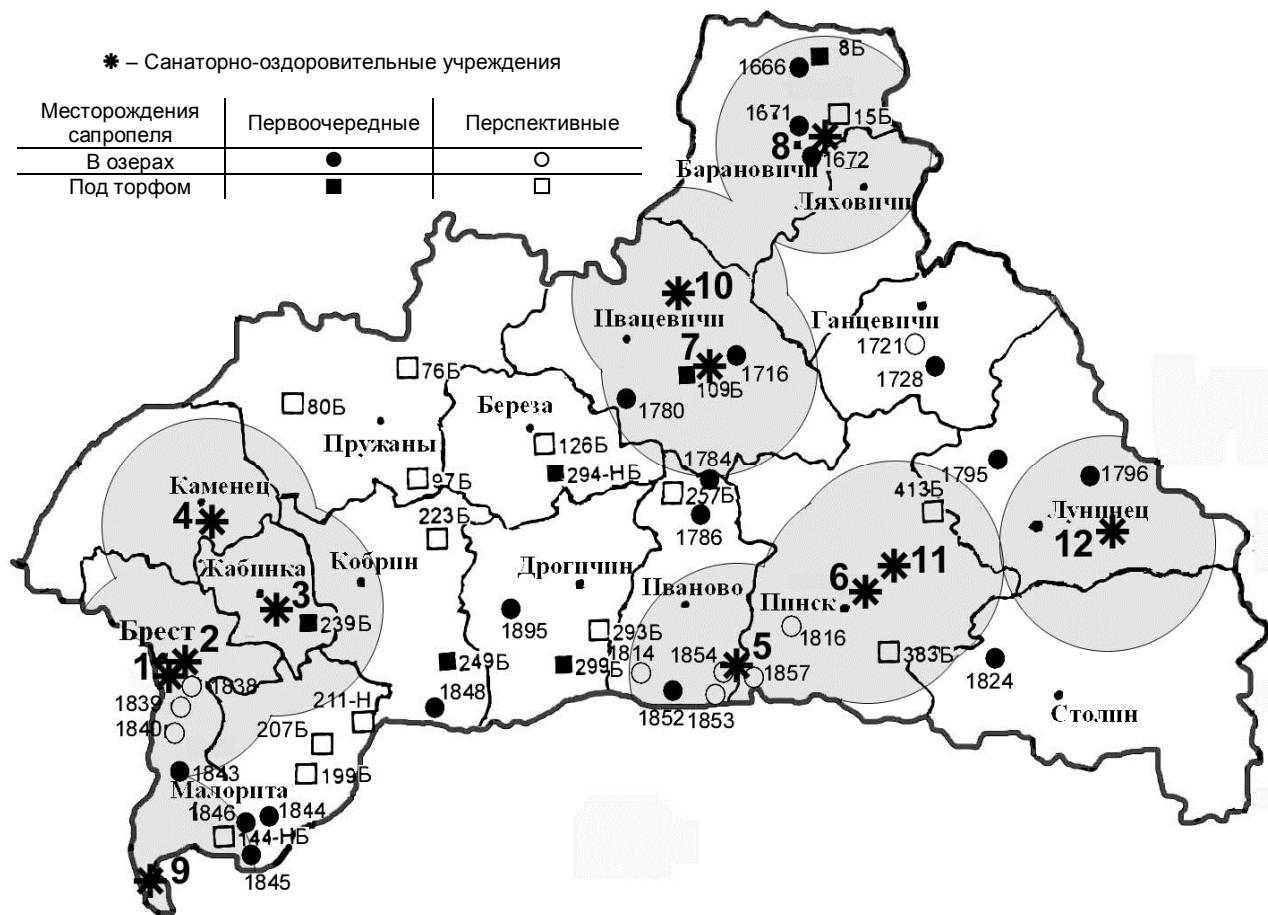


Рис. 1. Перспективные для освоения месторождения сапропелевых лечебных грязей Брестской области (1839 – оз. Медненское, 1840 – оз. Рогознянское, 1838 – оз. Страдеческое, 1814 – оз. Песчаное, 1852 – оз. Карасин, 1853 – оз. Безуменник, 1854 – оз. Белое, 1857 – оз. Семеховиче, 1816 – оз. Кончицкое, 1780 – оз. без названия у д. Корочин, 1784 – оз. Скупое, 1716 – оз. Бобровичское, 1672 – оз. Жлобинское, 1671 – оз. Мышечек, 1666 – оз. Колдычевское, 1845 – оз. Ореховское, 1846 – оз. Дворищанское, 1843 – оз. Тайное, 1796 – оз. Вулька, 144Б – т.м. Ореховское, 8Б – т.м. Корыгино, 15Б – т.м. Корчево, 109Б – т.м. Сухое, 383Б – т.м. Дубник, 413Б – т.м. Лихой Остров, 239Б – т.м. Гатча-Осовское), расположенные в пределах доступности санаторно-оздоровительных учреждений (1 – Белое, 2 – Озеро Берестье, 3 – Буг, 4 – Белая вежа, 5 – Алеся, 6 – Ясельда, 11 – Свитанак, 7 – Полесье, 10 – Сосновый, 8 – Магистраль, 9 – Елочка, 12 – Лахва)

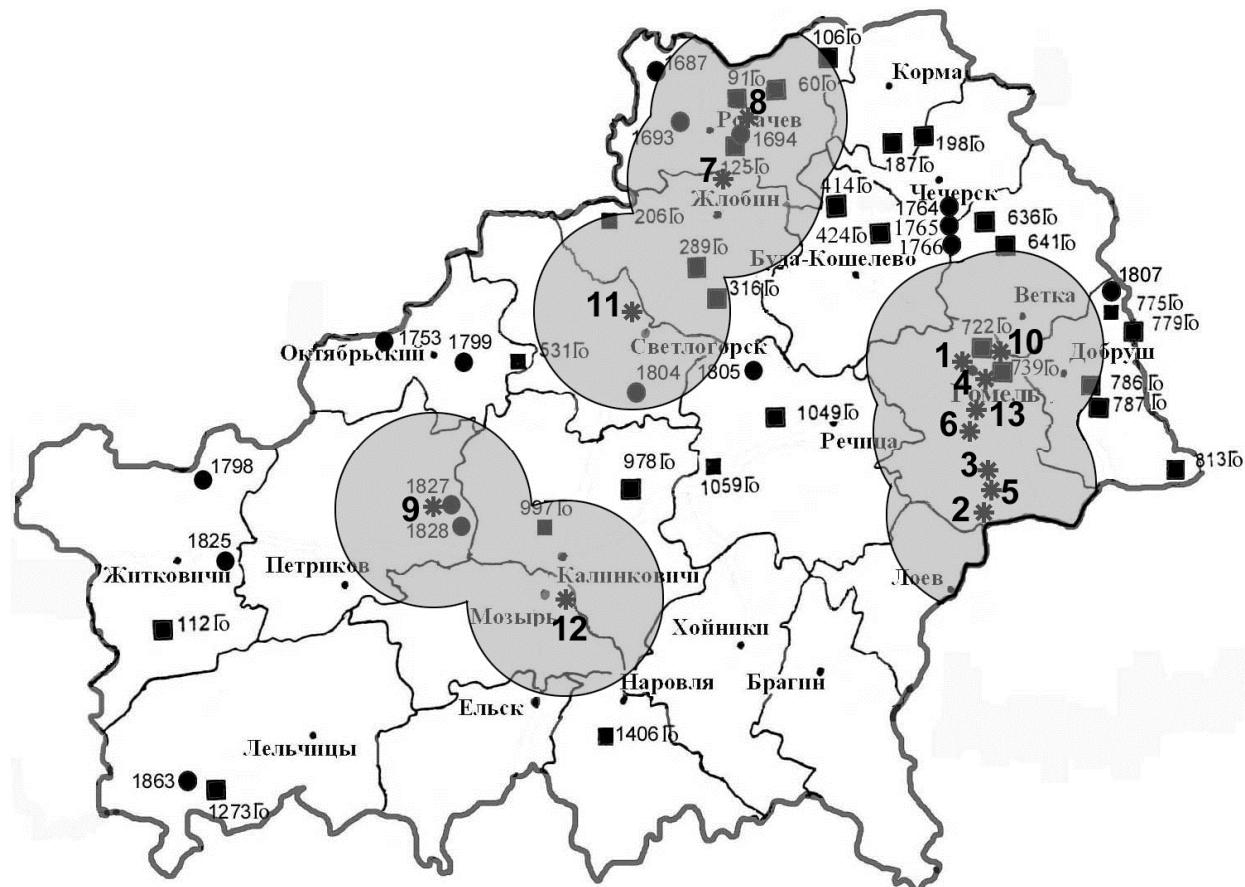
Гомельская область обладает достаточно развитой сетью санаторно-оздоровительных учреждений – из 103 санаториев и детских оздоровительных центров республики тринадцать (12,6 %) находятся в этом регионе. Проведенными исследованиями выявлены перспективные месторождения сапропеля, расположенные в пределах доступности для санаторно-курортных и оздоровительных учреждений области (рис. 2).

В Гомельской области большие запасы сырья для лечебных грязей расположены вблизи областного центра, а также городов Рогачева, Жлобина, Светлогорска (рис. 3). ООО «Гермес А» разрабатывает месторождение лечебных грязей в оз. Святое (д. Турск) Рогачевского района.

Следует отметить явный недостаток сырья вблизи санаторно-оздоровительных учреждений, расположенных в центральной части области. В связи с этим перспективна сырьевая база месторождений, расположенных в Лельчицком районе.

В настоящее время здесь проведена детальная разведка, выявлены три типа сапропеля, определены запасы и силами ОАО «Лельчицкий агросервис» начата его добыча из месторождения Прибыловичи. Проведенными предварительными исследованиями установлено наличие стимулирующего действия на основной обмен организма гуминовых вытяжек из торфа и сапропеля Лельчицких месторождений [3]. Необходимо провести исследования физиологических и лечебных свойств гуматов из смеси торфа и сапропеля и разработать рекомендации по применению этих препаратов в санаторно-оздоровительных и реабилитационных учреждениях.

В Гродненской области разведанные запасы сапропеля составляют 102 млн м<sup>3</sup>, в том числе залегающие в озерах – 70 млн м<sup>3</sup>, залегающие под торфом – 32 млн м<sup>3</sup>. В общей структуре запасов преобладает сапропель карбонатного (46 %) и кремнеземистого (34 %) типов.



**Рис. 2. Перспективные для освоения месторождения сапропелевых лечебных грязей Гомельской области (722Го – т.м. Поколюбичи, 739Го – т.м. Гривы, 775Го – т.м. Махи, 779Го – т.м. Ревяцкое, 786Го – т.м. Путь социализма, 1807 – оз. Ревучее, 91Го – т.м Озерице-Шулея, 60Го – т.м. Великое, 125Го – т.м. Солодкий Мох, 106Го – т.м. Загребля, 1693 – оз. Святое (д. Стременки), 1694 – оз. Святое, 1687 – оз. Крушиновское, 1827 – оз. Дикое, 1828 – оз. Плесецкое, 206Го – т.м. Подмостки, 289Го – т.м. Стрешино-Мормальская группа, 316Го – т.м. Прогресс, 1804 – оз. Стоячее, 997Го – оз. Новин Мох), расположенные в пределах доступности санаторно-оздоровительных учреждений (1 – Золотые пески, 3 – Качье, 4 – Кристалл, 5 – Лесные дали, 6 – Машиностроитель, 10 – Романтика, 13 – Чёнки, 7 – Правлеска, 8 – Приднепровский, 9 – Птичье, 11 – Серебряные ключи, 12 – Сидельники)**

На территории Гродненской области построено и действовало шесть объектов по добыче сапропеля. Всего за период освоения ресурсов сапропеля в 1985–2005 гг. из озер добыто около 300 тыс. т сапропеля. В настоящее время в области для целей грязелечения осуществляется добыча сапропеля грейферным способом на оз. Дикое Дятловского района. Экскаваторный способ для добычи сапропеля из-под слоя торфа применяется на торфоучастке Бенин Новогрудского района. Перспективным для производства сапропелевых грязей является выбывшее из эксплуатации т.м. Райста Гродненского района, на котором Институтом природопользования НАН Беларуси проведены предварительные изыскания.

В последние годы выполнена детальная разведка и в Республиканской комиссии по запасам полезных ископаемых утверждены запасы сапропеля в четырех озерах: Прибыловичи Лельчицкого, Буевское Лиозненского, Вильевово По-

ставского и Святое Рогачевского районов. Определены перспективные месторождения для добычи и использования лечебных грязей. В Витебской области начата добыча лечебных грязей в оз. Вальверово Поставского района (ОДО «Природные богатства»). Проведены поисково-оценочные работы и выполнены гигиенические и клинические (медицинские) испытания лечебных грязей из сапропеля оз. Малая Корчинка Глубокского района Витебской области для оздоровительно-туристического комплекса комплекса «Плиссса». Разработаны, согласованы и зарегистрированы ТУ BY 100011299.001-2013 «Грязь лечебная сапропелевая «Плиссса». Проведен комплекс предварительных исследований по разведке и аттестации лечебных грязей оз. Афанасьевское Дубровенского района для восточных регионов Витебской области. В Могилевской области планируется возобновить добычу сапропеля из оз. Вейно Белыничского района.

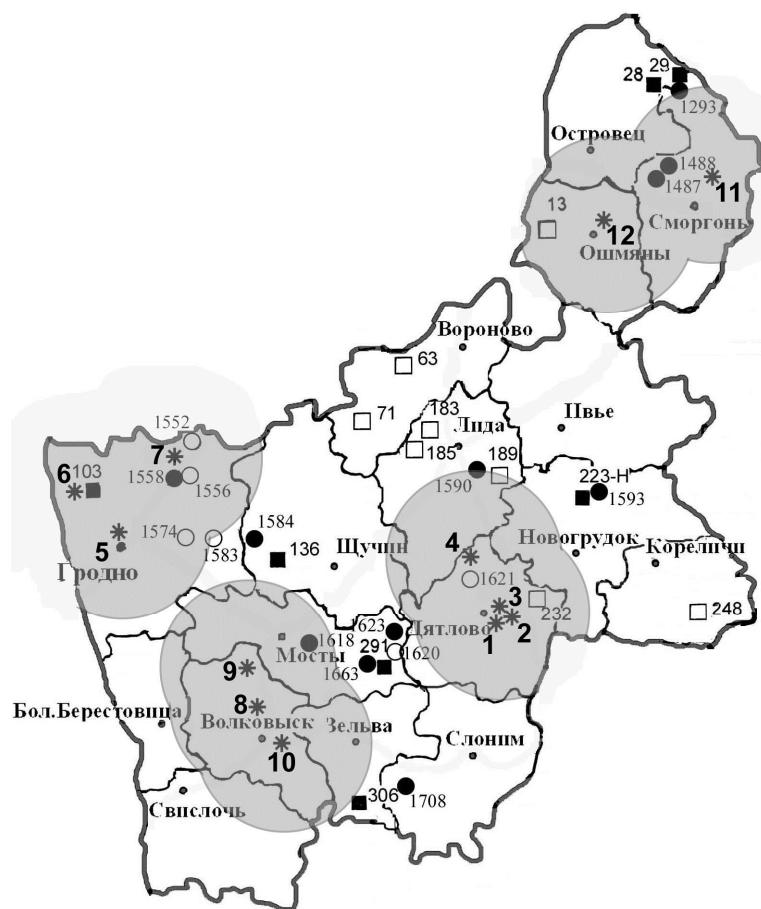


Рис. 3. Перспективные для освоения месторождения сапропелевых лечебных грязей Гродненской области (232 – т.м. Зосино, 189Г – т.м. Докудовское, 1590 – оз. Величковское, 1621 – оз. Дикое, 103Г – т.м. Кодевцы, 1552 – оз. Дуб, 1556 – оз. Чижовка, 1558 – оз. Кусенка, 1574 – оз. Рыбница, 1583 – оз. Лokino, 306Г – Ярутчи, 1618 – оз. Гонората, 13Г – т.м. Микулишки, 1487 – оз. Рыжее, 1488 – оз. Мертвое, 1293 – оз. Туша), расположенные в пределах доступности санаторно-оздоровительных учреждений (1,2 – Новоельня, 3 – Радон, 4 – Ласточка, 4 – Неман, 5 – Свяцк, 6 – Поречье, 8 – Россь, 9 – Энергетик, 10 – Волковыск, 11 – Лесная Поляна, 12 – Ошмяны)

Сапропелевая залежь в данном мелководном озере включает карбонатный и органический типы, перекрыта сплавиной и после соответствующих испытаний может применяться в бальнеологии. Ряд перспективных для целей грязелечения озер расположено в северной части Минской об-

ласти (Мядельский, Вилейский, Борисовский и Крупский районы).

Таким образом, использование сапропеля в бальнеологической практике существенно расширяет возможности лечебно-оздоровительных учреждений регионов.

## Литература

1. **Антонов, И. П.** Основные итоги и перспективные вопросы лечебного использования сапропелевых грязей / И. П. Антонов, Э. С. Кашицкий, И. С. Сикорская // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве : тез. докл. Третьей республ. науч. конф., Минск, 2–3 июня 1981 г./ АН БССР. – Минск, 1981. – С. 146–148.
2. **Инструкция по использованию сапропелевых лечебных грязей для оздоровления и санаторно-курортного лечения** / Б. В. Курзо [и др.]. – Минск, 2008.
3. **Кашицкий, Э. С.** Влияние торфосапропелевой вытяжки гуминовой природы на показатели метаболизма / Э. С. Кашицкий [и др.] // Сигнальные механизмы регуляции физиологических функций : тез. докл. XIII съезда Белорус. о-ва физиологов и II Междунар. науч. конф. – Минск, 2012. – С. 61.
4. **Курзо, Б. В.** Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля / Б. В. Курзо. – Минск, 2005.

5. Курзо, Б. В. Классификация сапропелевых залежей при освоении минеральных ресурсов озер / Б. В. Курзо, В. И. Ярцев // География в XXI веке: проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 4–8 окт. 2004 г. / Белорусск. гос. ун-т ; редкол. : П. С. Лопух [и др.]. – Минск, 2004. – С. 34–35.
6. Курзо, Б. В. Научно-прикладные исследования в области генезиса, ресурсов и освоения месторождений сапропеля Беларуси / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, В. К. Жуков // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 22. – С. 57–66.
7. Курзо, Б. В. Особенности формирования вещественного состава сапропеля органического типа в презентативных озерах различных регионов Беларуси / Б. В. Курзо [и др.] // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 183–191.
8. СТБ 17.04.02-01-2010. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Сапропель. Промышленно-генетическая классификация. – Минск, 2010.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Гродненский государственный медицинский университет,

<sup>3</sup>Институт физиологии НАН Беларуси,

<sup>4</sup>Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии

Поступила в редакцию 29.09.2014 г.

**Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, Н. В. Мазур, Д. Э. Кашицкий, Г. Д. Ситник**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САПРОПЕЛЕВЫХ  
ЛЕЧЕБНЫХ ГРЯЗЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Обобщены данные по ресурсам сапропеля Беларуси. Общие запасы сапропеля в республике составляют около 4 млрд м<sup>3</sup>, из которых 2,7 млрд м<sup>3</sup> сосредоточены в озерах и 1,3 млрд м<sup>3</sup> – под слоем торфа. Охарактеризованы ресурсы сырья для производства сапропелевых лечебных грязей. В зависимости от соотношения органических и минеральных компонентов сапропель делится на типы: органический, кремнеземистый, карбонатный и смешанный. Показаны лечебные эффекты сапропелегрязелечения на организм человека.

**B. V. Kurzo, O. M. Gajdukevich, N. V. Mazur, D. E. Kashickij, G. D. Sitnik**

**ADVANCED DEPOSIT OF SAPROPELIC THERAPEUTIC  
MUDS ON THE TERRITORY OF BELARUS**

*Long-term data on sapropel resources of Belarus have been summarized. Total reserves of sapropel in the Republic are about 4 billion m<sup>3</sup>, of which 2.7 billion m<sup>3</sup> is concentrated in lakes and 1.3 billion m<sup>3</sup> lie under the peat layer. Sapropel raw materials for production of sapropelic therapeutic muds have been characterized. Depending on the ratio of organic and mineral components the sapropel is divided into types: organic, siliceous, carbonate and mixed. Therapeutic effects of sapropel cure mud on human organism have been shown.*

УДК: 636.085.54:636.084.52

**Ш. К. Шакиров, Р. Н. Файзрахманов, Р. Р. Хузин**

## **«САПРОМИКС» – АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ КОНЦЕНТРАТ НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ**

*Описано положительное влияние АВМК «Сапромикс» (амидо-витаминно-минеральный концентрат) с использованием сапропеля озера Белое на молочную продуктивность коров, качество молока и прирост живой массы телят, полученных от подопытных коров. Установлено их высокое продуктивное действие и экономическая целесообразность.*

Обеспечение животных высококачественными и доступными кормами, а также необходимыми балансирующими кормовыми добавками является важной задачей организации рентабельного производства. Однако выполнение этого условия при промышленном ведении животноводства требует больших финансовых средств, которые не всегда окупаются произведенной продукцией. Выход из этой ситуации заключается в замене дорогостоящих кормовых добавок на более дешевые из местного сырья, обладающие уникальными биогенными и сорбентными свойствами, возможностью оптимизации обмена веществ в целом и, в частности, минерального питания, способностью выведения из организма радионуклидов и солей тяжелых металлов [2, 3, 5, 6]. Одним из главных резервов снижения удельного веса зернофуражных культур в составе концентрированных кормов, расходуемых на единицу продукции животноводства, является производство высококачественных комбикормов. К сожалению, сегодня их качество, несмотря на высокую стоимость, продолжает оставаться низким.

Известно, что стоимость комбикормов в Российской Федерации напрямую зависит от большого включения зернового сырья (68–88 %), что обусловлено недостающим обеспечением производства белковыми компонентами и различными кормами из вторичных ресурсов перерабатывающих отраслей промышленности, а также природных агроминералов. В то же время во многих странах Евросоюза удельный вес зерна в составе комбикормов составляет не более 38 %, а на долю вторичного сырья пищевых производств и агроминералов (известняки, цеолиты, сапропель и др.) приходится до 43–72 %. Развитию этой тенденции способствует возрастающий спрос на нежирное мясо, дефицит зерна в мире и снижение производства кормов животного происхождения (рыбной муки) и т. д.

В условиях Республики Татарстан (РТ) сапропели представляют огромный интерес в кормлении животных, что обуславливается их активным физиологическим действием на организм по сравнению с традиционными минеральными добавками.

Сапропель – это вещество биологического происхождения, образующееся на дне пресноводных водоемов из продуктов растительного и животного происхождения в результате бактериальных процессов, происходящих при малом доступе кислорода. Сапропель в естественном состоянии – это многокомпонентные полидисперсные системы. Он состоит из илового раствора, органических и зольных элементов и коллоидного комплекса. Состав органического вещества сапропеля представлен битумоидами, углеводным комплексом (гемицеллюлозы и целлюлозы), гуминовыми веществами, негидролизуемыми остатками. В составе протеина сапропеля выделено 17 видов аминокислот, однако преобладают глицин, цистин, аргинин, треонин, метионин, фенилаланин, лейцин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аланин, тирозин и гистидин.

В среде сапропелей бурно развивается специфическая микрофлора, которая обогащает их биологически активными веществами: α-, β-каротинами, стеринами, органическими кислотами, спиртами, гормоноподобными веществами и другие соединениями. Ценную группу биологически активных веществ образуют витамины группы В ( $B_1, B_2, B_3, B_6, B_{12}$ ), С, Е и др.

В золе сапропелей содержатся макроэлементы (кальций, фосфор, сера, магний, калий), микроэлементы (медь, марганец, кобальт, цинк и др.), но их содержание зависит от типовой и видовой принадлежности того или иного отложения.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что кормовые добавки, приготовленные с использованием сапропеля, обладают уникальными свойствами: возможностью оптимизации основного обмена веществ, коррекции воспроизводительных функций и повышением защитных сил организма [1, 4]. Однако отсутствие системного подхода к изучению сапропелей для производства комбикормов и кормовых добавок является сдерживающим фактором широкого его применения в животноводстве. Поэтому разработка и применение таких кормовых добавок должны быть основаны на глубоком знании данных о фармакологии и токсикологии, физиологии и биохимии, кормлении и технологиях подготовки кормов и добавок.

Токсикологические исследования сапропеля озера Белое Тукаевского района РТ, прове-

денные на лабораторных животных (белые крысы, кролики), показали, что сапропель не обладает местно-раздражающим, канцерогенным, эмбриотоксическим и тератогенным действиями. Коэффициент кумуляции для крыс составил 5,3 единицы. Результаты исследований поедаемости и продуктивного действия агроминерала свидетельствуют о том, что в состав их рационов можно включать сапропель до 3,0–4,0 % по массе корма.

Согласно гигиенической классификации химических веществ по степени кумуляции, при пероральном введении сапропель относится к веществам со слабовыраженной кумуляцией, по классификации Л. И. Медведь и др. (1964) они относятся к 4-му классу нетоксичных и малотоксичных соединений, а по ГОСТ 12.11.1.007-76 – к 4-му классу опасности (вещества малоопасные).

На основании многолетних глубоких исследований сапропеля озера Белое нами совместно со специалистами ТПК «Камский сапропель» создана по уникальной технологии серия доступных и эффективных кормовых концентратов нового поколения «Сапромикс» для всех видов сельскохозяйственных животных.

Уникальность технологии заключается в том, что основной матрицей концентрата является экструдированные энергопroteиновые компоненты растительного происхождения и химического синтеза. Концентраты в дальнейшем обогащаются макроминеральными добавками и со-

ответствующими премиксами. Сапропель включается в качестве источника всех перечисленных выше природных биогенных элементов для стимулирования обменных процессов в организме как растущих, так и взрослых животных.

Продуктивное действие и экономическую целесообразность применения нового продукта изучали в ООО «Дусым» Атнинского района РТ на 30 коровах холмогорской породы татарстанского типа, которые были подобраны в три группы методом пар-аналогов по 10 голов в каждой. Во время эксперимента животные находились на привязи в одинаковых условиях содержания и кормления.

Рационы для всех групп коров были аналогичными, составлялись с учетом детализированных норм кормления и состояли из грубых, сочных, концентрированных кормов и ферментированного корма. Согласно схеме опыта, коровы первой контрольной группы в течение всего опыта получали основной сбалансированный хозяйственный рацион. В рацион коров первой и второй опытных групп эквивалентно по массе комбикорма КК-60, состоящего из смеси злаковых зерновых культур (овес, рожь, ячмень), жмыха рапсового, отрубей пшеничных и монокальцийфосфата, включали АВМК «Сапромикс» из расчета соответственно 10 и 15 %. Состав и питательность рационов подопытных коров весенне-летнего периода представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Фактические средневзвешенные рационы кормления дойных коров**

Показатель	Группа		
	контрольная	первая опытная	вторая опытная
Сено люцерно-кострецовое, кг	1,9	2,0	2,0
Сенаж из кормосмеси, кг	9,6	9,7	9,7
Силос кукурузный, кг	10,6	10,8	10,8
Солома ячменная	1,0	1,0	1,0
Зеленая масса люцерно-кострецовая, кг	6,7	6,9	6,9
Зеленая масса рапса, кг	4,8	4,9	4,9
Зеленая масса кукурузы, кг	3,8	3,9	3,9
Комбикорм КК-60, кг	4,8	4,9	4,9
Ферментированный корм, кг	3,8	3,9	3,9
В рационе содержится:			
ЭКЕ	17,7	18,0	17,7
ОЭ, МДж	177,0	179,6	176,7
сухого вещества, кг	17,6	18,0	18,0
сырого протеина, г	2824,4	2887,9	2885,9
переваримого протеина, г	1939,5	1990,8	1974,1
сырого жира, г	607,0	622,5	616,2
сырой клетчатки, г	4073,6	4163,1	4175,4
сахара, г	1402,5	1415,1	1430,8
крахмала, г	2300,4	2320,0	2308,7
кальция, г	201,0	207,0	209,0
фосфора, г	113,6	115,5	114,6
магния, г	54,0	57,0	59,0
серы, г	33,0	35,0	36,0
соли поваренной, г	99,1	100,2	123,2

## Окончание табл. 1

Показатель	Группа		
	контрольная	первая опытная	вторая опытная
железа, мг	5440,5	5435,4	5358,2
меди, мг	148,0	175,0	214,0
цинка, мг	1204,0	1205,0	1372,0
марганца, мг	1130,0	1168,0	1320,0
кобальта, мг	11,3	15,2	20,7
йода, мг	21,0	26,1	36,8
селена, мг	1,9	3,0	4,4
каротина, мг	751,9	769,1	769,7
Витаминов:			
А, тыс. МЕ	120,0	123,7	185,6
Д, тыс. МЕ	12,6	27,6	39,8
Е, мг	1920,0	1963,0	2040,0

Примечание: ЭКЕ – энергетическая кормовая единица; ОЭ – обменная энергия.

Одним из главных критериев, позволяющих определить сбалансированность и полноценность рациона и продуктивное действие изучаемой кормовой добавки, является молочная про-

дуктивность коров: количество натурального молока, массовая доля белка и жира в молоке (табл. 2, 3).

Таблица 2. Молочная продуктивность коров за период опыта

Показатель	Группа ( <i>n</i> = 10)		
	контрольная	первая опытная	вторая опытная
Среднесуточная продуктивность коров за период опыта, кг	17,90±0,69	19,76±0,71	19,07±0,54
В пересчете на базисную жирность (3,4 %), кг	19,64±0,76	22,31±0,81*	21,82±0,62**
в % к контролю, %	100,00	113,59	111,10
Затраты обменной энергии на получение 1 кг молока базисной жирности, Мдж	9,01	8,05	8,10
в % к контролю, %	100,00	89,35	89,90
Затраты сырого протеина на получение 1 кг молока базисной жирности, г	143,81	129,44	132,26
в % к контролю, %	100,00	90,00	91,97

\*  $P < 0,05$ . \*\*  $P < 0,01$ .

Среднесуточный удой животных опытных групп за первый месяц лактации находился в пределах 19,1–19,9 кг, против 18,5 кг в контроле, что превышало значение последней на 7,1 и 3,0 % соответственно. За второй месяц лактации выявлено увеличение молочной продуктивности в опытных группах, однако к концу опытного периода наблюдалось понижение данного показателя у всех подопытных животных, при этом продуктивность опытных групп за данный период превышала аналогичную в контроле на 15,4 ( $P < 0,05$ ) и 6,8, 15,6 и 11,6 % ( $P < 0,05$ ). В среднем за период опыта молочная продуктивность коров опытных групп в пересчете на базисную жирность составила 22,3 и 21,8 кг и превосходила таковую контрольной группы на 13,6 и 11,1 % соответственно ( $P < 0,05$ ).

Скармливание амидо-витаминно-минерального концентрата «Сапромикс» способствовало снижению затрат обменной энергии на синтез 1 кг молока базисной жирности первой и

второй опытных групп на 10,7 и 10,1 %, сырого протеина на 10,0 и 8,0 % соответственно.

Применение АВМК «Сапромикс» положительно отразилось и на качестве молока. Так, результаты проведенных исследований свидетельствуют (табл. 3), что на 30-й день после отела наибольшее содержание сухого вещества, белка, жира, СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток) и золы установлено в молоке коров первой и второй опытных групп, значения которых превосходили аналогичное в контроле на 3,4 и 8,0 %, 2,6 ( $P < 0,05$ ) и 1,9 %, 2,2 и 3,5 ( $P < 0,01$ ) %, 1,3 и 2,7 %, 4,4 и 5,9 % соответственно.

Более высокие показатели плотности, кальция и золы выявлены в молоке животных второй опытной группы и составили 28,64, 0,124 и 0,098 %, тогда как содержание кальция и фосфора в первой опытной группе было ниже такого в контроле на 6,6 и 3,4 %.

**Таблица 3. Химический состав молока подопытных коров**

Показатель	Группы		
	контрольная	первая опытная	вторая опытная
<i>На 30-й день после отела (n = 5)</i>			
Сухое вещество, %	11,62±0,34	12,02±0,49	12,55±0,68
Белок, %	3,11±0,02	3,19±0,01*	3,17±0,02
Жир, %	3,70±0,03	3,78±0,04	3,83±0,01**
СОМО, %	8,49±0,04	8,60±0,09	8,72±0,06
Плотность, °A	28,46±0,04	28,56±0,11	28,64±0,13
Зола, %	0,68±0,02	0,71±0,004	0,72±0,06
Ca, %	0,122±0,005	0,114±0,002	0,124±0,005
P, %	0,087±0,004	0,084±0,005	0,098±0,007
<i>На 90-й день после отела (n = 5)</i>			
Сухое вещество, %	12,89±0,19	13,09±0,32	13,20±0,59
Белок, %	3,13±0,02	3,20±0,02	3,19±0,02
Жир, %	3,74±0,02	3,86±0,07	3,91±0,06*
СОМО, %	8,34±0,04	8,43±0,06	8,46±0,03
Плотность, °A	28,44±0,13	28,45±0,12	28,55±0,08
Зола, %	0,61±0,03	0,65±0,03	0,72±0,01*
Ca, %	0,108±0,006	0,118±0,009	0,120±0,003
P, %	0,083±0,004	0,086±0,004	0,092±0,003

\* P &lt; 0,05. \*\* P &lt; 0,01.

На 90-й день после отела во всех группах отмечается повышение содержания сухого вещества, белка и жира, однако наибольшим оно остается в молоке коров опытных групп соответственно на 1,6 и 2,4, 2,2 и 1,9, 3,2 и 4,5 % (P < 0,05) по сравнению с контрольной. В отношении СОМО и плотности наблюдается снижение во всех группах, причем наибольшее уменьшение СОМО отмечается во второй опытной группе (3,0 %), плотности – в первой (0,4 %). Наибольшая концентрация золы, кальция и фосфора выявлена во второй опытной группе – 0,72, 0,120 и 0,092 %, что выше по сравнению с первыми двумя группами на 6,6 и 18,0, 9,3 и 11,1, 3,6 и 10,8 % соответственно.

Важно отметить, что включение в комбикорм АВМК «Сапромикс» благоприятно повлияло и на содержание микроэлементов в молоке под-

опытных коров (табл. 4). Так, на 30-й день после отела наибольшее содержание меди и железа установлено в молоке коров опытных групп, что по сравнению с контролем выше на 4,7 и 14,9, 3,1 и 57,4 % (P < 0,05) соответственно. Концентрация кобальта в первой опытной превосходила концентрацию в молоке контрольной и второй опытной групп на 3,5 и 10,4 %.

На 90-й день после отела выявлена тенденция к увеличению содержания цинка и меди в молоке коров опытных групп, при этом наибольшей оно оставалось также в опытных группах – 2791,8 и 2835,8 мкг/кг, 91,0 (P < 0,05) и 101,4 мкг/кг (P < 0,01) соответственно. Концентрация кобальта в опытных группах превосходила концентрацию в контроле на 37,2 и 52,9 % (P < 0,01).

**Таблица 4. Содержание микроэлементов в молоке подопытных коров**

Показатель, мкг/кг	Группы		
	контрольная	первая опытная	вторая опытная
<i>На 30-й день после отела (n = 5)</i>			
Цинк	2636,20±109,19	2484,80±71,67	2592,80±70,91
Медь	72,60±1,36	76,00±4,37	83,40±4,27*
Марганец	63,00±2,70	56,20±3,43	60,00±3,27
Железо	366,60±26,55	377,80±41,89	577,00±70,89*
Кобальт	51,40±2,94	53,20±3,06	48,20±2,52
<i>На 90-й день после отела (n = 5)</i>			
Цинк	2650,40±55,74	2791,80±34,64	2835,80±74,98
Медь	64,20±6,09	91,00±7,18*	101,40±4,82**
Марганец	78,60±33,16	67,40±3,14*	64,80±3,09*
Железо	563,60±77,6	524,40±46,00	531,40±83,00
Кобальт	34,40±2,62	47,20±4,53	52,60±3,61**

\* P &lt; 0,05. \*\* P &lt; 0,01.

Исследованиями также установлено, что применение в рационах кормления дойных коров АВМК «Сапромикс» оказало положительное влияние на основной обмен веществ, что отразилось на изменении показателей белкового, углеводного, липидного и минерального обменов веществ. Так, наибольшее содержание общего белка в сыворотке крови к концу опытного периода отмечалось у животных опытных групп – 89,60 и 88,00 г/л, что было выше аналогичного в контроле на 6,7 и 4,8 %. Концентрация альбуминов была максимальным во второй опытной группе – 38,60 г/л. Показатели холестерина и глюкозы были также выше в сыворотке крови опытных групп на 7,9 и 3,0 %, 71,9 и 95,2 % соответственно. Наибольшее содержание общего кальция установлено в сыворотке крови первой и второй опытных групп (2,46 ммоль/л), неорганического фосфора – во второй (1,91 ммоль/л).

Следует отметить, что скармливание изучаемой кормовой добавки оказалось положительное влияние на динамику прироста живой массы и среднесуточного прироста телят, рожденных от подопытных коров. Так, за первые 30 дней среднесуточный прирост живой массы во второй опытной группе оказался выше на 7,5 % ( $P > 0,05$ ). В возрасте 60 и 90 дней указанные различия для животных опытных групп составили 7,2 и 15,5 % ( $P < 0,05$ ), 12,4 ( $P < 0,01$ ) и 15,8 % ( $P < 0,05$ ) соответственно. В целом за весь период наблюдения среднесуточный прирост живой массы телят опытных групп был выше аналогичного контрольной группы на 6,0 и 13,2 % ( $P < 0,05$ ).

Положительный эффект применения АВМК «Сапромикс» доказана и в научно-производственном опыте, который был проведен в ООО «Бахетле-АгроНИЖКАМ» Нижнекамского района РТ на двух группах коров черно-пестрой породы.

Согласно схеме опыта, животные контрольной группы в течение всего опыта получали основной сбалансированный хозяйственный рацион. В рацион коров опытной группы эквивалентно по массе зернофуражной части включали амидо-витаминно-минеральный концентрат «Сапромикс» из расчета 10 % на 1 кг СВ соответственно.

Проведенными исследованиями установлено (табл. 5), что скармливание дойным коровам АВМК «Сапромикс» способствовало увеличению за период опыта молочной продуктивности животных, которая в опытных группах в пересчете на базисную жирность составила 25,40 кг против 22,54 кг в контроле, что превосходило значение последней на 2,60 кг, или 12,7 %.

Включение в рационы кормления животных изучаемого концентрата также позволило снизить затраты обменной энергии и сырого протеина на образование 1 л молока базисной жирности на 13,1 и 15,4 % соответственно. Также необходимо отметить, что данный кормовой фактор положительно повлиял и на физико-химический состав молока. Так, наибольшее содержание сухого вещества (12,75 %) и жира (3,98 %) было установлено в молоке коров первой и второй опытных групп, при этом в контрольной группе оно было немного ниже и составило 12,07 и 3,88 % соответственно.

Содержание белка в молоке коров обеих групп различалось незначительно и находилось в пределах 3,18–3,19 %. Концентрация СОМО в молоке коров опытных групп составила 8,82 % и превосходила таковую в контрольной на 1,5 %. При этом значение золы, кальция и фосфора было наибольшим в молоке коров опытных групп и составило 0,72, 0,129 и 0,096 %, что было выше аналогичного в контроле на 5,9, 11,2 и 3,2 % соответственно.

**Таблица 5. Молочная продуктивность и затраты кормов на производство молока подопытных животных**

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Поголовье коров	145	75
Молочная продуктивность коров, кг	19,75	21,70
В пересчете на базисную жирность (3,4 %), кг	22,54	25,40
% к контролю	100,0	112,6
Содержание жира в молоке	3,88	3,98
% к контролю	100,0	102,5
Затраты обменной энергии на получение 1 кг молока базисной жирности, МДж	10,5	9,1
% к контролю	100,0	86,8
Затраты сырого протеина на получение 1 кг молока базисной жирности, г	127,2	107,6
% к контролю	100,0	84,6

Скармливание дойным коровам АВМК «Сапромикс» позволило получить экономический эффект на одну голову в сутки 35,78 руб., или на 1 рубль дополнительных затрат 3,75 руб.

Анализируя изложенное выше, следует отметить, что балансирование рационов кормления в результате применения нового альтернативного кормового концентрата АВМК «Сапропе-

микс» приводит к повышению молочной продуктивности, улучшению качества молока, биохимических показателей крови коров, а также к увеличению среднесуточного прироста телят и снижению затрат кормов на синтез 1 кг молока базисной жирности, следовательно, повышению рентабельности ее производства.

### Литература

1. **Булатов, С. Г.** Продуктивные и воспроизводительные качества гусей при использовании сапропеля : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.04 / С. Г. Булатов. – Уфа, 2006.
2. **Горячев, И. И.** Использование сапропеля озера Червоное в комбикормах дойных коров / И. И. Горячев, М. Г. Калаур, Н. А. Савчиц // Зоотехническая наука Беларусь : сб. науч. тр. – Жодино, 2008. – Т. 43. – С. 51–58.
3. **Кузнецов, С.** Эффективность использования премиксов в кормлении дойных коров / С. Кузнецов, В. Калашник // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2006. – № 9. – С. 32–34.
4. **Пестис, В. К.** Сапропели в кормлении сельскохозяйственных животных / В. К. Пестис. – Гродно, 2003.
5. **Савчиц, Н. А.** Рецепты комбикормов для коров с использованием сапропеля / Н. А. Савчиц // Зоотехническая наука Беларусь : сб. науч. тр. – Жодино, 2006. – Т. 41. – С. 331–333.
6. **Яцко, Н. А.** Нормы ввода и эффективность использования обезвоженных сапропелей в составе комбикорма при откорме бычков / Н. А. Яцко [и др.] // Зоотехническая наука Беларусь : сб. науч. тр. – Жодино, 2005. – Т. 40. – С. 307–317.

**Татарский научно-исследовательский институт  
сельского хозяйства Россельхозакадемии**

Поступила в редакцию 4.08.2014 г.

**Ш. К. Шакиров, Р. Н. Файзрахманов, Р. Р. Хузин**

### **«САПРОМИКС» – АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ КОНЦЕНТРАТ НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ**

Описано положительное влияние АВМК «Сапромикс» (амидо-витаминно-минеральный концентрат) с использованием сапропеля озера Белое на молочную продуктивность коров, качество молока и прирост живой массы телят, полученных от подопытных коров. Установлено их высокое производственное действие и экономическая целесообразность.

**S. K. Shakirov, R. N. Faizrakhmanov, R. R. Khuzin**

### **«SAPROMIX» – ALTERNATIVE CONCENTRATE BASED SAPROPEL**

*Described a positive effect AVMK «Sapromix» using sapropel White lake on dairy cow productivity, milk quality and live weight gain of calves derived from experimental cows. Established their high productive action and economic expediency.*

УДК 547.458.87+547.992.2

**Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова**

## **ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ НОВОЙ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПЕКТИНСОДЕРЖАЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ**

*Приведены результаты исследования физико-химических свойств и химического состава отходов растительного сырья, используемого для получения новой биологически активной пектинсодержащей кормовой добавки (ПКД) для крупного рогатого скота.*

В современном животноводстве большое внимание уделяется не только обеспеченности животных кормами, но и включению в рацион биологически активных добавок. В качестве источника биологически активных веществ могут использоваться отходы переработки растительного сырья, богатые природными химическими соединениями, которые положительно воздействуют на физиологические процессы, протекающие в организме животных, корrigируя особенности метаболизма в желудочно-кишечном тракте, ускоряя усвоемость питательных веществ, одновременно сорбируя и удаляя вредные вещества.

Уровень физиологического действия кормовых добавок с функциональными свойствами, получаемых из природного сырья, в первую очередь зависит от тщательного подбора этого сырья как источника биологически активных веществ.

Особого внимания в этом аспекте заслуживают отдельные категории сырья растительного происхождения, являющегося кладезем природных биологически активных веществ, а также органических соединений, способных в процессе химической переработки образовывать новые группы этих соединений с регуляторными функциями.

В качестве исходного сырья для получения новой пектинсодержащей биологически активной кормовой добавки были выбраны ростки солода – отходы пивоваренного производства и свекловичный жом – отходы сахарного производства, которые включают в свой химический состав широкий спектр биологически активных веществ: пектинов, витаминов, ферментов, протеинов, аминокислот, фенольных соединений, а ростки солода еще и меланоидины, образующиеся в процессе сушки проросшего ячменя, предусмотренной технологией пивоварения.

Ростки солода по внешнему виду являются сухим сыпучим продуктом, так как проходят тепловую обработку вместе с солодом, а затем отделяются и удаляются из дальнейшего процесса приготовления пива.

Свекловичный жом образуется при выщелачивании сахара из свекловичной стружки. Он представляет собой твердую влажную массу,

которая быстро подвергается порче. В связи с этим на современных сахарных заводах осуществляется его дополнительный отжим, последующая сушка и гранулирование.

Эти отходы в республике пока не находят эффективного применения.

Для проведения работ были получены образцы сырья с крупных предприятий республики: ростки солода, образующиеся при производстве светлых сортов пива, – от ОАО «Ивановский солодовенный завод» (г. Иваново, Брестской обл.) и ОАО «Крыница» (г. Минск), свекловичный жом – от ОАО «Скидельский сахарный комбинат» и ОАО «Городейский сахарный комбинат». Эти предприятия в дальнейшем будут основными поставщиками сырья для получения данной кормовой добавки.

С помощью стандартных методов изучены физико-химические свойства ростков солода и свекловичного жома: влага  $W_{\text{отн}}$ , зольность  $A^{\circ}$ , насыпная плотность, кислотность водной вытяжки pH.

Как видно из табл. 1, исходное сырье для получения кормовой добавки, полученное от разных производителей, очень близко по физико-химическим свойствам.

Как ростки солода, так и свекловичный жом имеют коричневую окраску, низкую влажность, характеризуется малой зольностью, т. е. сухое вещество этих продуктов представлено более чем на 90 % органическими соединениями. Сырец имеет малую насыпную плотность, которая для ростков солода  $0,268\text{--}0,271 \text{ г}/\text{см}^3$  а для свекловичного жома –  $0,546\text{--}0,548 \text{ г}/\text{см}^3$  и практически нейтральную реакцию среды (pH водной вытяжки жома составляет 7,3–7,4, а ростков солода 6,5–6,6).

Дальнейшие исследования были направлены на изучение химического состава свекловичного жома и ростков солода. По методикам, принятым для растительного сырья, в них определяли содержание органических компонентов: водорастворимых веществ, гемицеллюз, целлюлозы, пектинов, щелочерастворимой фракции, а в составе всех углеводных фракций – содержание редуцирующих веществ (РВ) эбулиостатическим методом. Результаты определения компонентного состава ростков солода и свекловичного жома приведены в табл. 2.

**Таблица 1. Сравнительная физико-химическая характеристика отходов – исходного сырья для производства ПКД**

Сырье	Внешний вид	W <sub>отн.</sub> , %	A <sup>c</sup> , %	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	pH
Ростки солода («ОАО Криница»)	Сыпучий продукт светло-коричневого цвета	9,2	6,0	0,271	6,6
Ростки солода (ОАО «Ивановский солодовенный завод»)	Сыпучий продукт светло-коричневого цвета	8,8	6,0	0,268	6,5
Свекловичный жом (ОАО «Городейский сахарный комбинат»)	Гранулы серо-коричневого цвета	10,1	3,9	0,546	7,3
Свекловичный жом (ОАО «Скидельский сахарный комбинат»)	Гранулы серо-коричневого цвета	12,8	2,2	0,548	7,4

**Таблица 2. Компонентный состав ростков солода и свекловичного жома**

Вид сырья	Содержание компонентов, % к органической массе							
	водорастворимые вещества		легкогидролизуемые вещества		трудногидролизуемые вещества		щелочерасторимые вещества	негидролизуемый остаток
	общее содержание	РВ в них	общее содержание	РВ в них	общее содержание	РВ в них		
Ростки солода (ОАО «Криница»)	29,6	8,3	48,4	18,2	13,3	12,1	2,3	6,4
Ростки солода (ОАО «Ивановский солодовенный завод»)	28,6	8,1	47,8	17,9	13,3	12,3	2,3	8,0
Жом свекловичный (ОАО «Городейский сахарный комбинат»)	5,0	0,3	38,7	16,1	23,4	21,6	14,5	18,4
Жом свекловичный (ОАО «Скидельский сахарный комбинат»)	5,0	0,3	35,6	15,8	24,8	21,4	17,7	16,9

Из приведенных данных следует, что аналогичное сырье разных производителей близко по компонентному составу. Но при этом жом существенно отличается по составу от солодовенных ростков. Если ростки солода содержат около 30 % водорастворимых веществ, то в сухом жоме этот показатель не превышает 5 %. Соответственно изменяется и содержание водорастворимых редуцирующих веществ в их составе. Углеводные компоненты присутствуют в этих отходах в большей мере в качестве гемицеллюлоз, содержание которых в жоме составляет 35,6–38,7 %, а в ростках солода – 47,8–48,4 %.

Целлюлозой представлено 13,3 % в ростках солода и 23,4–24,8 % в жоме, а редуцирующие вещества в ней – 12,1–12,3 и 21,4–21,6 %.

На долю твердых остатков, образующихся после извлечения углеводных и щелочерасто-

римых комплексов, приходится 6,4–8,0 и 16,9–18,4 % соответственно.

Согласно литературным данным [1], в состав углеводов свекловичного жома входит значительное количество (40–50 %) пектинов. Они состоят из пектозы (протопектина), растворимого пектина и полигалактуроновой кислоты. При этом половина пектиновых веществ представлена нерастворимыми протопектинами. Их нерастворимость объясняется механическим переплетением пектиновых молекул с высокомолекулярными компонентами клеточной стенки и наличием многовалентных ионных мостиковых связей через кальций и магний между свободными карбоксильными группами молекул [2]. Протопектины переходят в растворимое состояние только в результате химической деструкции.

Многие полисахариды пектиновой природы обладают высокой биологической активностью.

В литературе имеются сведения об их противоопухолевом, противовирусном, антикоагулянтном действии [3–7].

Практически важной является водопоглощительная функция пектинов, которые характеризуется способностью связывать до 20 % воды, с полным растворением при избытке жидкости. Связывание воды пектинами происходит путем превращения в гели. Это обстоятельство, а также выраженное раздражающее действие на механорецепторы слизистой оболочки кишечника определяют их ведущую роль в стимуляции перистальтики кишечника и регуляции его моторной функции.

Благодаря наличию в молекулах пектинов большого количества свободных карбоксильных групп, они обладают высокой комплексообразующей способностью. Пектины способствуют ускоренному выведению из организма различных вредных веществ, содержащихся в кормах, включая тяжелые и радиоактивные металлы, хо-

лестерин, канцерогены и различные экзо- и эндотоксины, продукты неполного переваривания пищевых веществ, а также уменьшению уровня свободного амиака, образующегося в процессе гниения или брожения [2, 7].

Таким образом, при разработке способа и технологии производства новой кормовой добавки из ростков солода и свекловичного жома необходимо создать технологические условия, которые обеспечивают высокое содержание этих ценных биологически активных соединений в ее составе.

Азотсодержащие соединения ростков солода составляют 4,5–4,8 %. Нами установлено содержание в их составе следующих аминокислот: пролина, аспарагиновой и глутаминовой кислот, аланина, валина, треонина, серина, лейцина, изолейцина, фенилаланина, тирозина, аргинина, глицина, метионина. Общее содержание аминокислот на абсолютно сухую массу ростков достигает 1250,3 мг/кг (табл. 3).

**Таблица 3. Аминокислотный состав ростков солода**

Аминокислота	Содержание аминокислот	
	мг/кг	% от суммы
Цистеин	81,5	6,52
Лизин	8,8	0,70
Гистидин	6,1	0,49
Аргинин	116,0	9,28
Аспарагиновая кислота	304,0	24,29
Серин	66,3	5,30
Глицин	140,6	11,25
Глутаминовая кислота	23,7	1,89
Треонин	19,4	1,56
Аланин	116,7	9,33
Пролин	87,0	6,96
Тирозин	48,0	3,84
Метионин	50,0	4,00
Валин	50,9	4,08
Фенилаланин	58,7	4,69
Лейцины	47,1	3,77
Триптофан	25,5	2,04
Сумма	1250,3	100,0

В наибольшем количестве в ростках солода содержатся аспарагиновая кислота (24,29 % от суммы аминокислот), глицин (11,25 %), аргинин (9,28 %), аланин (9,33 %). Азотистые вещества в жоме составляют 1,8–2,5 % и представлены в основном труднорастворимыми формами белка (до 80 % от общего количества азота). Эти соединения при гидролизе переходят в водорастворимое состояние в виде аминокислот аланина, валина, лейцина, изолейцина, аспарагиновой и глутаминовой кислот, лизина, ар-

гинина, фенилаланина, тирозина, пролина и триптофана.

Значительный интерес представляет витаминный состав выбранного растительного сырья. В ростках светлого солода обнаружены витамины группы В: тиамин ( $B_1$ ), рибофлавин ( $B_2$ ), пиридоксин ( $B_6$ ), а также никотиновая (РР) и аскорбиновая (С) кислоты [8]. Данные по характеристике витаминного состава ростков солода приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Характеристика витаминного состава ростков солода**

Витамин	Содержание в ростках солода	
	мг/кг на сухое вещество	% на ОМ
B <sub>1</sub> – тиамин	6,7	0,71
B <sub>2</sub> – рибофлавин	6,6	0,70
B <sub>3</sub> – пантотеновая кислота	18,8	2,00
B <sub>6</sub> – пиридоксин	5,6	0,60
B <sub>12</sub> – цианкобаланин	5,1	0,54
РР – никотиновая кислота	3,0	0,32
Е – токоферол	13,4	1,43
C – аскорбиновая кислота	62,4	6,64

Ростки солода богаты витаминами группы В. Например, содержание тиамина в них составляет 6,7 мг/кг, никотиновой кислоты (витамин РР) – 3,0 мг/кг.

В сухом жоме найдены следующие витамины: B<sub>1</sub> – 0,55, B<sub>2</sub> – 0,20; B<sub>6</sub> – 0,18; C – 5,0; пантотеновая кислота – 0,21 и биотин – 0,001 мг/кг [9].

Важно подчеркнуть, что отдельные витамины группы В, РР и каротин устойчивы при нагревании, а поэтому могут переходить в продукты химической переработки этого растительного сырья, пополняя комплекс его биологически активных соединений.

Таким образом, химическая характеристика исходного сырья, используемого для получения новой пектинсодержащей кормовой добавки ПКД, показала, что оно является гемицеллюлозсодержащим сырьем, в его составе присутствуют витамины, аминокислоты, а для жома характерно высокое содержание пектинов, основная часть которых не растворяется в воде, что свидетельствует о необходимости химической деструкции этих материалов для более полного обогащения биологически активными соединениями, доступными для усвоения организмом животных.

### Л и т е р а т у р а

1. Жидков, А. И. Технология концентрата свекловичного пектина для продуктов лечебно-профилактического питания : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. И. Жидков. – М., 2004.
2. Голубев, В. Н. Пектин: химия, технология, применение / В. Н. Голубев. – М., 1995.
3. Беседнова, Н. Н. Иммунотропные свойства 1-\*3;1-6-р-0-глюканов / Н. Н. Беседнова, Т. Н. Звягинцева, Ж. А. Елякова // Антибиотики и химиотерапия. – 2000. – Т. 45. – С. 37–44.
4. Лысенко, Т. А. Биологическая активность комплекса водорастворимых полисахаридов из растительного сырья / Т. А. Лысенко [и др.] // Международный журн. эксперимент. образования. – 2012. – № 12. – С. 103–110.
5. Оводов, Ю. С. Полисахариды цветковых растений / Ю. С. Оводов // Биоорган. химия. – Т. 24, № 7. – С. 483–505.
6. Запорожец, Т. С. Влияние транслама на иммунный ответ облученных мышей / Т. С. Запорожец [и др.] // Радиационная биология радиоэкология. – 1995. – Т. 35. – С. 260–263.
7. Елякова, Л. А. Сравнительная характеристика и изучение сорбционных свойств активных центров эндо-Р-1,3-глюканаз / Л. А. Елякова, Т. Н Звягинцева, Н. М. Привалова // Биоорган. химия. – 1978. – Т. 4. – С. 1553–1559.
8. Справочник по кормовым добавкам / сост. Н. В. Редько, А. Г. Антонов ; под ред. К. М. Солнцева. – 2-е изд. – Минск, 1990.
9. Пономаренко, Ю. А., Безопасность кормов, кормовых добавок и продуктов питания / Ю. А. Пономаренко, В. И. Фисинин, И. А. Егоров. – Минск, 2012. – С. 751.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 22.07.2014 г.

Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова,  
Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова

### **ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ НОВОЙ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПЕКТИНСОДЕРЖАЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ**

В современном животноводстве большое внимание уделяется включению в рацион животных биологически активных кормовых добавок с функциональными свойствами. Уровень физиологического действия таких добавок напрямую зависит от тщательного подбора сырья как источника биологически активных веществ. В качестве такого сырья для получения новой пектинсодержащей биологически активной кормовой добавки ПКД были выбраны ростки солода – отходы пивоваренного производства и свекловичный жом – отходы сахарного производства, которые включают в свой химический состав широкий спектр биологически активных веществ.

Химическая характеристика исходного сырья, используемого для получения новой пектинсодержащей кормовой добавки, показала, что оно является гемицеллюлозсодержащим сырьем, в его составе присутствуют витамины, аминокислоты, а для свекловичного жома характерно высокое содержание пектинов, основная часть которых не растворяется в воде, что свидетельствует о необходимости химической деструкции этих материалов для более полного обогащения биологически активными соединениями, доступными для усвоения организмом животных.

**G. V. Naumova, A. E. Thomson, N. A. Zhmakova,  
N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova**

### **CHEMICAL CHARACTERISTICS OF RAW MATERIALS OF NEW BIOLOGICALLY ACTIVE FEED ADDITIVE CONTAINING PECTIN**

*Much attention is paid to inclusion in the diet of animals biologically active feed additives with functional properties in modern livestock. The level of the physiological effect of such additives depends on the careful selection of raw materials as a source of biologically active substances. As a raw material for new pectin bioactive feed additive were selected malt sprouts – waste brewing industry and beet pulp – wastes of sugar production, which includes a wide range of chemical composition of biologically active substances.*

*The chemical characteristic of the feedstock used to obtain a new pectin feed additive PAO showed that it is hemicelluloses containing feedstock, it includes vitamins, amino acids, and high pectin content is typical for sugar beet pulp, most of which are not soluble in water, indicating the need for chemical degradation of these materials for more complete enrichment of biologically active compounds, available for absorption by the body of animals.*

**Ю. А. Пономаренко**

## ВЛИЯНИЕ ХЛОРЕЛЛЫ, ОБОГАЩЕННОЙ ЙОДОМ И СЕЛЕНОМ, НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

*Представлены результаты научных исследований и показано, что введение в рацион цыплят-бройлеров суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, позволяет увеличить продуктивность птицы и значительно повысить содержание этих микроэлементов в мясе, что обогатит продукты питания йодом и селеном.*

Многими исследователями доказана эффективность использования хлореллы, в основном в виде суспензии и пасты, в рационах сельскохозяйственных животных и птицы для повышения их продуктивности и экономного расхода кормов. Сухая хлорелла, как правило, использовалась в больших количествах и как источник протеина. Но в литературе нет данных о применении суспензии и сухой хлореллы, выращенной на питательной среде с добавлением йода и селена, и их влиянии на продуктивность цыплят-бройлеров и получение функциональной продукции [1, 4, 6, 7, 9, 12].

Эффективность использования суспензии хлореллы, обогащенной йодом и селеном, при выращивании молодняка свиней изучала М. В. Фролова. Наиболее высокий эффект получен при скармливании хлореллы, выращенной на питательной среде, обогащенной йодом и селеном [8].

Установлено, что незаменимые аминокислоты в сухой хлорелле содержатся в следующих количествах: лизин – 0,88 %, метионин – 0,48, метионин + цистин – 1,24, треонин – 1,37, триптофан – 0,51, аргинин – 0,82, валин – 1,76 %, β-каротин содержится в количестве 1300 мг/кг; витамины: А – 100 МЕ/кг, Д (эргостерин) – 1100 МЕ/кг, Е – 225 мг/кг, К – 6, В<sub>1</sub> – 10, В<sub>2</sub> – 25, В<sub>3</sub> – 15, В<sub>4</sub> – 3000, В<sub>5</sub> – 145, В<sub>6</sub> – 9, В<sub>c</sub> – 485, Н (биотин) – 0,1, С – 3150 мг/кг, В<sub>12</sub> – 75 мкг/кг. Предельное содержание условно жизненно необходимых микроэлементов в сухой хлорелле не должно превышать по фтору 10,0 мг/кг, никелю 1,0, хрому 0,5, мышьяку 10 мг/кг, а токсичных микроэлементов по кадмию не более 0,5 мг/кг, сурье 0,5, ртути 0,1, свинцу не более 5,0 мг/кг. Полученные данные свидетельствуют о высокой питательной ценности сухой хлореллы, большом количестве незаменимых аминокислот, макро-, и микроэлементов, витаминов, что позволяет рекомендовать использование ее в комбикормах, белково-витаминно-минеральных добавках и премиксах для сельскохозяйственных животных и птицы как источник не только питательных, но и биологически активных веществ [6].

Йод и селен – важнейшие микроэлементы в рационах птицы [2, 3, 5, 10, 11], поэтому использование хлореллы, выращенной на питательной среде богатой солями этих микроэлементов весьма актуально и перспективно.

Целью исследований являлось изучение эффективности введения в рационы цыплят-бройлеров различных доз суспензии хлореллы и сухой хлореллы, выращенной на питательной среде, содержащей кроме основных питательных веществ соли йода и селена в большом количестве, при промышленном производстве мяса, влияние их на продуктивность и получение мяса с высоким содержанием йода, селена, β-каротина.

**Материалы и методики исследований.** Научно-производственные опыты по получению мяса цыплят-бройлеров с использованием хлореллы, обогащенной йодом и селеном, проводили на цыплятах-бройлерах кросса «Росс-308» на РУСПП «Смолевичская бройлерная птицефабрика» в 2011 г. Для этого было сформировано семь групп цыплят-бройлеров по 100 голов. Контрольную и опытные группы птицы комплектовали по принципу групп-аналогов (одинаковых по происхождению, возрасту, общему развитию).

Птицу, предназначенную для опытов, индивидуально взвешивали и распределяли по группам методом случайной выборки.

Подопытную птицу содержали на глубокой подстилке при рекомендуемых параметрах выращивания. Нормы посадки, фронт кормления и поения, температурный, влажностный, световой режимы соответствовали рекомендациям ВНИТИП.

Кормили птицу сбалансированными по питательности комбикормами, приготовленными методом весового дозирования. Доступ птицы к воде и корму был свободным. Смешивание проходило в течение 30 мин при ступенчатом вводе микродобавок. Обогащение комбикормов витаминами и микроэлементами проводили согласно рекомендациям, их вводили в составе премикса. Недостаток лизина и метионина в ра-

ционах восполняли за счет синтетических аминокислот.

Схема опыта по выявлению оптимальной дозы суспензии и сухой хлореллы в рационах цыплят представлена в табл. 1.

Суспензия хлореллы содержала 50 млн клеток хлореллы в 1 мл. Во всех группах цыпля-

та-бройлеры возрастом 1–21 и 22–35 дней получали комбикорма с одинаковыми составом и питательностью. Недостаток лизина и метионина в рационах восполняли за счет синтетических аминокислот. Схема производственной проверки представлена в табл. 2.

**Таблица 1. Схема опыта по выявлению оптимальной дозы суспензии хлореллы и сухой хлореллы**

Группа	Особенность кормления	Содержание в хлорелле на 1 т рациона, г		
		йода	селена	β-каротина
Контрольная	Полнорационный комбикорм ПК по нормам ВНИТИП 2009 г. (йод в виде йодида калия, селен в виде селениита натрия)	0,70	0,20	–
1-я опытная	ПК* + суспензия хлореллы 8 мл на голову	0,56	0,16	1,04
2-я опытная	ПК* + суспензия хлореллы 10 мл на голову	0,70	0,20	1,30
3-я опытная	ПК* + суспензия хлореллы 12 мл на голову	0,84	0,24	1,56
4-я опытная	ПК* + 0,8 кг сухой хлореллы на 1 т комбикорма	0,56	0,16	1,04
5-я опытная	ПК* + 1,0 кг сухой хлореллы на 1 т комбикорма	0,70	0,20	1,30
6-я опытная	ПК* + 1,2 кг сухой хлореллы на 1 т комбикорма	0,84	0,24	1,56

\*ПК не содержал йод, селен, β-каротин.

**Таблица 2. Схема производственной проверки**

Вариант	Особенность кормления	Содержание в хлорелле на 1 т рациона, г		
		йода	селена	β-каротина
Базовый	Полнорационный комбикорм ПК по нормам ВНИТИП 2009 г. (йод в виде йодида калия, селен в виде селениита натрия)	0,70	0,20	–
1-й новый	ПК* + суспензия хлореллы 10 мл на голову	0,70	0,20	1,30
2-й новый	ПК* + 1,0 кг сухой хлореллы на 1 т комбикорма	0,70	0,20	1,30

В исследованиях на цыплятах-бройлерах учитывали такие показатели, как сохранность поголовья, живая масса, среднесуточный прирост живой массы, потребление кормов, индекс продуктивности, перевариваемость основных питательных веществ, качество мяса бройлеров, дегустационная оценка, потери при жарке, со-

хранение йода и селена в мясе и печени бройлеров.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Различные дозы добавки суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном и введенных в рацион, оказали влияние на динамику живой массы и основные зоотехнические показатели цыплят-бройлеров (табл. 3).

**Таблица 3. Зоотехнические показатели в зависимости от дозы суспензии и сухой хлореллы**

Показатель	Группа						
		контрольная	опытная				
			1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Сохранность цыплят, %	97	98	98	98	98	98	98
Живая масса цыплят, г, в возрасте:							
1 сут	42,8±0,6	42,8±0,6	42,8±0,6	42,8±0,5	42,8±0,6	42,8±0,6	42,8±0,5
28 дней	955±12	997±14	1025±15	1020±15	985±13	1030±14	1024±14
35 дней (в среднем)	2055±31	2089±34	2195±35	2179±34	2080±34	2205±35	2097±34
В том числе:							
петушков	2310±35	2358±36	2462±37	2375±35	2360±34	2475±38	2370±36
курочек	1800±30	1820±30	1928±31	1983±32	1800±29	1935±33	1824±27
Среднесуточный прирост живой массы цыплят за 35 дней, г	57,5	58,5	61,5	61,0	58,3	61,8	58,7
Расход корма на 1 кг прироста, кг	1,70	1,65	1,60	1,64	1,65	1,60	1,64
Индекс продуктивности	335	354	384	372	353	386	358

Сохранность поголовья во всех группах цыплят-бройлеров была высокой и составляла 98 % в опытных и 97 % в контрольной группе. Живая масса бройлеров в 28-дневном возрасте при использовании хлореллы, обогащенной йодом и селеном, на 42–75 г, или 4,4–7,9 %, была больше, чем цыплят, не получавших эти добавки ( $p < 0,05$ ). В 35-дневном возрасте более высокую живую массу имели цыплята 2-й и 5-й опытных групп. Живая масса этих цыплят превышала живую массу цыплят контрольной группы на 140 и 150 г, или 6,8 и 7,3 % ( $p < 0,005$ ).

Петушки 2-й и 5-й опытных групп по живой массе в 35-дневном возрасте превосходили петушков контрольной группы на 152 и 165 г, а курочки соответственно на 128 и 135 г. Таким образом, петушки и курочки практически одинаково отреагировали на добавки в комбикорма приростом живой массы. Наивысший среднесуточный прирост живой массы цыплят за 35 дней был во 2-й и 5-й опытных группах и составил соответственно 61,5 и 61,8 г.

Самые наименьший расход корма на 1 кг прироста живой массы отмечен у цыплят-бройлеров 2-й и 5-й группы. Они затрачивали на 1 кг прироста живой массы 1,60 кг комбикорма или на 6,3 % меньше, чем цыплята контрольной группы. Индекс продуктивности цыплят-бройлеров 2-й и 5-й опытных групп был наивысшим и составил соответственно 384 и 386, что на 14,6 и 15,2 % выше, чем в контрольной группе.

Результаты балансового опыта по переваримости цыплятами-бройлерами 27–35-дневного возраста протеина, жира, клетчатки, использованию азота, кальция, фосфора, доступности лизина, метионина, линолевой кислоты, комбикормов при разных дозах суспензии и сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном и введенных в рацион, дали следующие результаты. Переваримость протеина, жира, клетчатки, содержащихся в комбикорме, бройлерами 2-й и 5-й групп была больше соответственно на 2,1 и 2,2, 2,2 и 2,3, 1,2 и 1,2 % по сравнению с контролем.

Для изучения состояния обмена белков большое значение имеет определение азотистого баланса, или разницы между количеством азота, поступившего в организм с кормом, и выделенного в виде конечных продуктов азотистого обмена.

Использование азота, кальция, фосфора, содержащихся в комбикорме, цыплятами 2-й и 5-й опытных групп было больше на 1,8 и 1,9, 1,8 и 1,8, 0,6 и 0,6 %, чем цыплятами контрольной группы. Доступность лизина, метионина, линолевой кислоты комбикорма цыплятами 2-й и 5-й опытных групп была больше на 2,2; 2,0; 2,2 %, чем в контроле.

Предубойная масса цыплят-бройлеров в опытных группах была больше на 25–149 г, или

1,2–7,3 %, чем цыплят контрольной группы. Масса потрошеной тушки опытных групп была больше на 19–109 г, или 1,3–7,5 %, чем тушки контрольной группы. Убойный выход потрошеных тушек опытных групп был на 0,1–0,2 % больше, чем контрольной.

Выход мяса первой категории в опытных группах был больше, чем в контрольной, на 2–4 %. Выход съедобных частей к потрошеной тушке, выход мышц к потрошеной тушке, выход грудных мышц к потрошеной тушке в опытных группах был больше, чем в контрольной, на 0,1–0,2 %. Соотношение внутреннего жира к потрошеной тушке не изменялось и во всех группах составило по 1,3 %.

Различные дозы суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном и введенных в рацион, не оказали значительного влияния на количество воды, белка, жира и минеральных веществ в мышечной ткани.

Дегустационная оценка жареного мяса цыплят контрольной группы составила  $4,71 \pm 0,2$  балла, а бройлеров опытных групп –  $4,72 \pm 0,2$ – $4,73 \pm 0,2$  балла. Потери при жарке мяса почти не отличались и составили 35,6 % в контрольном варианте и 35,4–35,5 % у птицы опытных групп.

Введение в рацион цыплят-бройлеров суспензии хлореллы, обогащенной йодом и селеном, (1–3-я опытные группы) способствовало увеличению содержания йода в мясе и печени на 3,9–27,3 и 5,5–24,8 % соответственно; селена в мясе и печени на 30,8–54,3 и 25,0–35,0 % соответственно.

Введение сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном (4–6-я опытные группы) в комбикорм значительно повлияло на накопление данных микроэлементов в мясе и печени цыплят-бройлеров. Так, к концу выращивания содержание йода в мясе цыплят-бройлеров увеличилось в 1,56–1,79 раза и в печени – в 1,55–1,75 раза, а селена – в 1,82–2,03 и в 1,50–2,02 раза соответственно. При этом следует отметить, что разница этих показателей в 5 и 6-й опытных группах была незначительной. Так, превышение содержания йода и селена в мясе цыплят 6-й опытной группы составило всего 1,5 и 2,2 % по сравнению с 5-й опытной группой, а в печени – 0,3 и 3,7 % соответственно.

Следовательно, повышение дозы сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном, от 1,0 до 1,2 кг на 1 т комбикорма нецелесообразно, так как это весьма незначительно влияет на содержание этих элементов в мясе и печени цыплят-бройлеров.

Содержание этих микроэлементов не превышало ПДУ по СанПиН 1163РБ 98. Министерством здравоохранения Республики Беларусь рекомендовано содержание в мясе птицы йода 30–70 мкг/100 г и селена 10–20 мкг/100 г.

**Экономическая эффективность использования хлореллы в рационах бройлеров.** Основные итоги результатов исследования производственной проверки и экономическая эф-

фективность использования супензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Основные результаты производственной проверки**

Показатель	Вариант		
	базовый	новый 1	новый 2
Посажено суточных цыплят-бройлеров	1000	1000	1000
Сдано цыплят на убой	970	985	985
Сохранность, %	97,0	98,5	98,5
Живая масса суточного цыпленка, г	40,3	40,3	40,3
Живая масса всего поголовья суточных цыплят, кг	40,3	40,3	40,3
Живая масса сданной птицы на убой, кг	2066,1	2243,8	2250,7
Прирост живой массы, кг	2025,8	2203,5	2210,4
Средняя живая масса цыпленка в конце выращивания, г	2130	2278	2285
Срок выращивания, дни	35	35	35
Среднесуточный прирост живой массы, г на голову	59,7	63,9	64,1
Расход комбикорма, кг	3524,9	3566,2	3691,4
Расход супензии хлореллы, л	—	344,8	—
Расход сухой хлореллы, кг	—	—	3,7
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,74	1,62	1,67
Производственные затраты, тыс. бел. руб.	15 809,3	16 452,3	17 026,1
В том числе стоимость:			
кормов без хлореллы, тыс. бел. руб.	9880,8	9996,6	10347,1
цена 1 л супензии хлореллы, тыс. бел. руб.	—	1,529	—
стоимость супензии хлореллы, тыс. бел. руб.	—	527,2	—
цена 1 кг сухой хлореллы, тыс. бел. руб.	—	—	203,3
стоимость сухой хлореллы, тыс. бел. руб.	—	—	752,2
Убойный выход, %	71,5	72,6	72,7
Получено мяса, кг	1477,3	1629,0	1636,3
Себестоимость 1 кг мяса, тыс. бел. руб.	10,7	10,1	10,4
Цена реализации 1 кг мяса	20,0	20,0	20,0
Экономический эффект, тыс. бел. руб.	—	977,4	490,9
Экономический эффект, долларов США (курс 8494 бел. руб. за 1 доллар США)	—	115,1	57,8
Экономический эффект от одного сданного на убой бройлера тыс. бел. руб.	—	0,992	0,498
Экономический эффект от одного сданного на убой бройлера долларов США	—	0,117	0,059

Производственной проверкой было установлено, что при дополнительном введении в рацион цыплят-бройлеров супензии хлореллы (новый вариант 1) и сухой хлореллы (новый вариант 2), обогащенных йодом и селеном, результаты выращивания цыплят-бройлеров и производственные показатели были выше, чем в контроле:

сохранность цыплят-бройлеров на 1,5 %;  
живая масса сданной птицы на убой на 177,7 и 184,6 кг;  
средняя живая масса одной головы в конце выращивания на 148 и 155 г, или на 6,9 и 7,3 %;  
среднесуточный прирост живой массы на 4,2 и 4,4 г на голову, или на 7,0 и 7,4 %;  
убойный выход на 1,1 и 1,2 %;  
получено мяса на 151,7 и 159,0 кг;  
затраты корма на 1 кг прироста живой массы снизились на 0,12 и 0,07 кг, или на 6,8 и 4,0 %;  
себестоимость 1 кг мяса снизилась на 0,6 и 0,3 тыс. бел. рублей.

Экономический эффект при выращивании одной тысячи цыплят по новому варианту 1 составил 977,4 тыс. бел. руб., что в пересчете на одного бройлера, сданного на убой, составляет 0,992 тыс. бел. руб., или 0,117 долл. США. В новом варианте 2 экономический эффект при выращивании одной тысячи цыплят составил 490,9 тыс. бел. руб., что в пересчете на одного бройлера, сданного на убой, составляет 0,498 тыс. бел. руб., или 0,059 долл. США.

**Заключение.** Исследования показали, что оптимальная доза супензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, в рационах цыплят-бройлеров составляет 10 мг на голову (при концентрации 50 млн клеток в 1 мл) и 1 кг на 1 т комбикорма. Дальнейшее увеличение количества хлореллы не приводило к увеличению продуктивности цыплят и снижению расхода корма.

Установлено, что при использовании супензии и сухой хлореллы получен экономический эффект, однако применение супензии хлореллы

дало больший эффект, так как стоимость ее в рационе цыплят-бройлеров ниже стоимости сухой хлореллы в 1,4 раза, а расход корма на выращивание единицы продукции – на 3 %. Однако накопление йода и селена в мясе и печени брой-

леров при использовании сухой хлореллы, обогащенной этими микроэлементами, проходило интенсивнее и было обусловлено большим содержанием органических форм йода и селена.

### Литература

1. **Богданов, Н. И.** Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н. И. Богданов. – Пенза, 2006.
2. **Егоров, И. А.** Использование йода и селена в комбикормах кур-несушек / И. А. Егоров, Ю. А. Пономаренко // Комбикорма. – 2007. – № 3. – С. 79–80.
3. **Егоров, И. А.** Обогащение яиц кур селеном и витамином Е / И. А. Егоров, Г. В. Ивахник, Т. Т. Папазян // Птица и птицепродукты. – 2006. – № 2. – С. 42–44.
4. **Куницын, М. В.** Хлорелла – будущее птицеводства / М. В. Куницын // Птицеводство. – 2009. – № 4. – С. 11–13.
5. **Пономаренко, Ю. А.** Функциональные продукты птицеводства, содержащие повышенное количество йода, витамина А, и каротина / Ю. А. Пономаренко // Инновационные разработки и их освоение в промышленном птицеводстве : материалы XVII Междунар. конфер., Сергиев Посад, 2012 / Всемирная науч. ассоциация по птицеводству, Российское отделение, НП «Научный центр по птицеводству» ; ред. В. И. Фисинин. – Сергиев Посад, 2012. – С. 253–254.
6. **Пономаренко, Ю. А.** Питательная ценность хлореллы и содержание витаминов, аминокислот, макро-, микроэлементов / Ю. А. Пономаренко, Е. Е. Мананкина // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем : Междунар. науч. конфер. XI съезд Белорус. общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 17–20 июня 2014 г. : сб. ст. в 2 ч. / Институт биофизики и клеточной инженерии, Белорусский государственный университет, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований ; редкол. : И. Д. Волотовский [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 2. – С. 125–127.
7. Рекомендации по применению кормовой добавки «Суспензия хлореллы для животных и птиц» / М-во сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РО «Белптицепром», УО Витебская государственная академия ветеринарной медицины, ГНУ «Ин. биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь» ; разраб. Ю. А. Пономаренко [и др.]. – Минск, 2009.
8. **Фролова, М. В.** Эффективность использования суспензии хлореллы, обогащенной йодом и селеном, при выращивании молодняка свиней : дис. ... канд. биол. наук : 06.02.10 / М. В. Фролова. – Волгоград, 2012.
9. **Ромашко, А. К.** Добавка «Суспензия хлореллы» в кормлении кур-несушек / А. К. Ромашко, В. Ю. Горчаков // Современные технологии сельскохозяйственного производства : XI междунар. науч.-практик. конфер. – Гродно, 2008. – С. 189–190.
10. **Фисинин, В.** Качество пищевых яиц и здоровое питание / В. Фисинин, А. Штеле, Г. Ерастов // Птицеводство. – 2008. – № 2. – С. 2–6.
11. **Фисинин, В. И.** Ученые птицеводы России. Люди и птицы / В. И. Фисинин. – М., 2011.
12. **Lipstein, B.** The nutritional value of sewage grown samples of Chlorella and Micractinium in broiler diets / B. Lipstein, S. Hurwitz // Poultry Sci. – 1983. – Vol. 62, № 7. – P. 1254–1260.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 8.07.2014 г.

**Ю. А. Пономаренко**

### **ВЛИЯНИЕ ХЛОРЕЛЛЫ, ОБОГАЩЕННОЙ ЙОДОМ И СЕЛЕНОМ, НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Приводятся результаты исследований на современном высокопродуктивном кроссе цыплят-бройлеров с целью повышения продуктивности и получения мяса, обогащенного йодом и селеном. Изучено накопление йода и селена в мясе и печени цыплят-бройлеров в зависимости от количества суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном.

Исследования показали, что оптимальная доза суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, в рационах цыплят-бройлеров составляет 10 мг на голову (при концентрации 50 млн клеток в 1 мл) и 1 кг на 1 т комбикорма. Дальнейшее увеличение количества хлореллы не

приводило к увеличению продуктивности цыплят и снижению расхода корма.

Введение сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном (4–6-я опытные группы), в комбикорм значительно повлияло на накопление данных микроэлементов в мясе и печени цыплят-бройлеров. Так, к концу выращивания содержание йода в мясе цыплят-бройлеров увеличилось в 1,56–1,79 раза и в печени – в 1,55–1,75 раза, а селена – в 1,82–2,03 и в 1,50–2,02 раза соответственно. При этом следует отметить, что разница этих показателей в 5-й и 6-й опытных группах была весьма незначительной. Так, превышение содержания йода и селена в мясе цыплят 6-й опытной группы составило всего 1,5 и 2,2 % по сравнению с 5-й опытной группой, а в печени – 0,3 и 15,5 % соответственно.

Следовательно, повышение дозы сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном от 1,0 до 1,2 кг на 1 т комбикорма нецелесообразно, так как это весьма незначительно влияет на содержание этих элементов в мясе и печени цыплят-бройлеров.

**U. A. Ponomarenko**

### **THE INFLUENCE OF CHLORELLA FORTIFIED WITH IODINE AND SELENIUM ON PRODUCTIVITY OF BROILER CHICKENS AND RECEIVING FUNCTIONAL PRODUCTS**

*The results of research on modern high cross-country broiler chickens in order to increase productivity and produce meat, enriched with iodine and selenium are provided. Accumulation of iodine and selenium in meat and liver of broiler depending on the number of chlorella and dry suspensions enriched with iodine and selenium has been studied.*

*Study showed that the optimum dose of the slurry and dry chlorella fortified with iodine and selenium in the diets of broiler chickens is 10 mg per head (at a concentration of 50 million cells in 1 ml) and 1 kg per 1 ton of feed. Further increase in the number of chlorella is not lead to an increase of productivity and reduction of chickens feed flow.*

*The introduction of dry chlorella rich in iodine and selenium (4–6 experienced group) in feed significantly influenced the accumulation of trace data in meat and liver of broiler chickens. So, by the end of growing iodine content in meat of broiler chickens grown in 1,56–1,79 times and in the liver – in 1,55–1,75 times, and selenium – to 1,82–2,03 and 1,50–2,02 times, respectively. It should be noted that the difference of performance in the 5th and 6th experimental groups was very small. Thus, an excess of iodine and selenium in young chickens of the 6th experimental group was only 1.5 and 2.2 %, compared with the 5th experimental group and in the liver – 0.3 and 15.5 %, respectively.*

*Therefore, increasing the dose of dry chlorella, rich in iodine and selenium from 1.0 to 1.2 kg per 1 ton of feed is impractical because it is a very minor effect on the content of these elements in meat and liver of broiler chickens.*

**Ю. А. Пономаренко**

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ХЛОРЕЛЛЫ, ОБОГАЩЕННОЙ ЙОДОМ И СЕЛЕНОМ, В РАЦИОНАХ КУР-НЕСУШЕК

*Недостаток йода и селена в почвах и, как следствие, в кормах не позволяет получать высокую продуктивность кур-несушек, а куриное яйцо содержит недостаточное количество данных элементов. Эти важнейшие микроэлементы вводятся в комбикорма с премиксами. Представлены результаты научных исследований и показано, что введение в рацион кур-несушек суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, позволяет увеличить продуктивность птицы и значительно повысить содержание этих микроэлементов в курином яйце.*

Современные высокопродуктивные кроссы кур-несушек наиболее требовательны к сбалансированному рациону, особенно по микроэлементному составу. Основными элементами, на которые необходимо обратить внимание, являются йод и селен, так как в кормах, заготавливаемых в Республике Беларусь, их недостаточно, поэтому необходимо дополнительно использовать йод- и селенсодержащие добавки, прежде всего органические формы этих микроэлементов в рационах животных и птицы [2, 3, 10, 11].

Применение суспензии хлореллы открывает большие возможности по увеличению рентабельности, улучшению качества и получению дополнительной продукции в птицеводстве и животноводстве [1, 4, 5, 8, 9]. Еще большие возможности могут открыться при использовании сухой хлореллы в комбикормах для сельскохозяйственных животных и птицы, как было установлено ранее в наших исследованиях по изучению ее питательной ценности [6, 7]. Однако в литературе нет данных об использовании суспензии и сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном, в рационах кур-несушек и их влиянии на продуктивность и получение функциональной продукции. Весьма актуальным и перспективным в этом плане направлением представляется получение органических форм йода и селена в составе водорослей хлореллы, выращенной на питательной среде, содержащей кроме основных питательных веществ соли йода и селена в большом количестве.

Цель настоящей работы – изучение эффективности применения в рационах кур-несушек различных доз суспензии и сухой хлореллы, выращенной на питательной среде, содержащей кроме основных питательных веществ соли йода и селена в большом количестве, с получением пищевых яиц с заданными свойствами, предназначенных для обогащения рационов питания

населения этими микроэлементами. Использовалась суспензия, содержащая 50 млн клеток, и сухая хлорелла, обогащенные йодом и селеном, полученные на основе штаммов *Chlorella vulgaris* ИФР № С – 111 или *B/N*.

При приготовлении питательной среды в которой выращивается хлорелла, для предотвращения выпадения солей в осадок, который часто образуется в среде, приготовленной на водопроводной воде, добавляли ЭДТА.

**Материал и методика исследований.** Научно-производственный опыт на курах-несушках яичного кросса «Хайсекс белый» в предкладковый и продуктивный периоды был проведен в ОАО «1-я Минская птицефабрика» в 2011 г. Птицу содержали в клеточных батареях по 30 голов в группе при рекомендуемых параметрах содержания кур яичного направления продуктивности. Световой режим, температура, плотность посадки и другие параметры соответствовали рекомендациям Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства (ГНУ ВНИТИП). Кормление проводили вручную сухими рассыпными полнорационными комбикормами путем нормированного их скармливания.

Исследования выполнены по Методике проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы (Сергиев Посад 2004). До 16-недельного возраста молодняк выращивался в одинаковых условиях; С 16-недельного возраста, его разделили на семь групп. Схема опыта представлена в табл. 1.

Суспензия хлореллы содержала 50 млн клеток хлореллы в 1 мл.

В предкладковый (16–20 недель), ранне-продуктивный (21–45 недель) и позднепродуктивный (46–68 недель) периоды во всех группах птица получала комбикорма с одинаковой питательностью.

**Таблица 1. Схема опыта по использованию суспензии и сухой хлореллы в рационах кур-несушек**

Группа	Особенности кормления	Содержание в суспензии или сухой хлорелле в расчете на 1 т рациона, г		
		йод	сelen	$\beta$ -каротин
Контрольная	Полнорационный комбикорм (ПК) по нормам ВНИТИП, 2009 г. (йод в виде йодида калия, селен в виде селениита натрия)	0,70	0,20	–
1-я опытная	ПК* + суспензия хлореллы — 8 мл на голову	0,56	0,16	1,04
2-я опытная	ПК* + суспензия хлореллы — 10 мл на голову	0,70	0,20	1,30
3-я опытная	ПК* + суспензия хлореллы — 12 мл на голову	0,84	0,24	1,56
4-я опытная	ПК* + сухая хлорелла — 0,8 кг/т комбикорма	0,56	0,16	1,04
5-я опытная	ПК* + сухая хлорелла — 1,0 кг/т комбикорма	0,70	0,20	1,30
6-я опытная	ПК* + сухая хлорелла — 1,2 кг/т комбикорма	0,84	0,24	1,56

*Примечание.* В полнорационный комбикорм (ПК) контрольной группы йод и селен вводили в неорганических формах, в полнорационный комбикорм (ПК\*) опытных групп йод и селен не вводили, эти микроэлементы содержались в суспензии или сухой хлорелле, причем суспензия хлореллы содержала только по 5 % йода и селена в органической форме, а сухая хлорелла – по 95 % этих микроэлементов в органической форме.

Экономическая эффективность использования суспензии и сухой хлореллы была выявлена в ходе производственной проверки на курах-несушках яичного кросса «Хайсекс белый». Птицу содержали в клеточных батареях при рекомендемых нормативах и требованиях содержания и кормления кур яичного направления продуктивности.

Базовый и новый варианты птицы были сформированы из молодняка промышленных яичных кур-несушек, выращенного при одинаковых условиях кормления и содержания. В каж-

дом варианте использовалось по 1000 голов птицы. До 16-недельного возраста молодняк выращивался в одинаковых условиях и получал комбикорма с питательностью по нормам ГНУ ВНИТИП. С 16- до 68-недельного возраста птицу базового и новых вариантов кормили полнорационными комбикормами одинаковой питательности, за исключением того что птица новых вариантов получала дополнительно суспензию или сухую хлореллу по схеме, представленной в табл. 2.

**Таблица 2. Схема производственной проверки**

Вариант	Особенность кормления	Содержание в суспензии или сухой хлорелле в расчете на 1 т рациона, г		
		йод	сelen	$\beta$ -каротин
Базовый	Полнорационный комбикорм ПК по нормам ВНИТИП, 2009 г. (йод в виде йодида калия, селен в виде селениита натрия)	0,70	0,20	–
1-й новый	ПК* + суспензия хлореллы 10 мл/голову	0,70	0,20	1,30
2-й новый	ПК* + 1,0 кг сухой хлореллы на 1 т комбикорма	0,70	0,20	1,30

Основные производственные показатели, полученные при добавке суспензии и сухой хлореллы промышленным курам-несушкам яичного направления продуктивности, представлены в табл. 3.

Как видно из полученных данных, использование суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном в рационах кур-несушек, оказало положительное влияние на продуктивность и затраты кормов.

Увеличивались:

сохранность птицы с учетом выбраковки на 3,4 и 4,2–4,7 %;

интенсивность яйценоскости кур-несушек на 1,9–4,4 и 3,5–5,9 %;

количество отборных и первой категории яиц соответственно на 2,3–5,3; 1,6–4,2 и 2,1–4,6; 0,6–2,2 %;

средняя масса яиц на 1,1–2,4 г (1,9–4,2 %) и 0,3–0,8 г (0,5–1,4 %);

выход яичной массы на начальную несушку на 0,70–1,46 кг, или на 4,9–10,2 % и 0,76–1,33 кг, или на 5,3–9,3 %.

Достоверных различий в живой массе кур-несушек в возрасте 21, 45, 68 недель не установлено.

Снижались:

количество второй категории яиц на 3,9–9,5 и 2,8–6,9 %;

затраты комбикорма на 10 яиц и на 1 кг яичной массы соответственно на 0,02–0,07 и 0,10–0,21 кг, или на 1,5–5,2 и 4,2–8,9 %, а при использовании сухой хлореллы соответственно на 0,04–0,08 и 0,08–0,17 кг, или на 3,0–5,9 и 3,4–7,2 %.

Достоверных различий в среднесуточном потреблении комбикормов у кур контрольной и опытных групп не установлено.

При использовании суспензии и сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном, в рационах кур-несушек соответственно в количестве 10 мл на несушку и 1 кг на 1 т комбикорма сохранность птицы с учетом выбраковки, интенсивность яйценоскости кур-несушек, количество отборных и первой категории яиц, средняя масса яиц, выход яичной массы на начальную несушку были наивысшими, а количество второй категории яиц,

затраты комбикорма на 10 яиц и на 1 кг яичной массы были наименьшими, что позволяет говорить об этом количестве как оптимальной норме.

Использование суспензии и сухой хлореллы в рационах кур-несушек не оказало существенного влияния на основные морфологические показатели яиц. При использовании суспензии хлореллы установлено увеличение содержания витамина А и каротина в яйце соответственно на 22,6–29,9 и 27,6–51,6 %, при использовании сухой хлореллы – соответственно на 35,8–67,8 и 42,1–79,7 %.

**Таблица 3. Продуктивность кур-несушек с 21-й по 68-ю неделю и затраты кормов**

Показатель	контроль-ная	Группа					
		опытная					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
Сохранность кур с учетом выбраковки, %	93,3	96,7	96,7	96,7	97,5	98,0	98,0
Интенсивность яйценоскости, %	75,5	77,7	79,9	77,4	79,3	81,4	79,0
Получено яиц на начальную несушку, шт.	248,5	255,7	262,9	254,5	260,8	267,8	259,8
Категория яиц, %:							
отборное	5,5	7,8	10,8	10,0	7,6	10,1	10,0
первая категория	73,0	74,6	77,2	76,1	73,6	75,2	75,2
вторая категория	20,7	16,8	11,2	13,1	17,9	13,8	13,9
мелкое	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
Средняя масса яиц, г	57,4±0,3	58,5±0,4	59,8±0,4	59,0±0,4	57,6±0,4	58,2±0,4	58,0±0,4
Выход яичной массы на начальную несушку, кг	14,26	14,96	15,72	15,02	15,02	15,59	15,07
Живая масса кур в возрасте, г:							
21 недели	1423±12,3	1421±15,0	1424±15,0	1423±15,4	1415±15,1	1411±15,1	1411±15,1
45 недель	1675±20,7	1678±19,6	1679±19,8	1678±19,9	1673±19,0	1675±19,1	1674±19,0
68 недель	1585±15,0	1581±14,0	1582±14,3	1583±14,4	1584±14,3	1580±14,1	1581±14,0
Среднесуточное потребление комбикормов, г на голову	102,0	102,3	102,1	102,6	103,6	103,4	103,7
Затраты комбикорма на 10 яиц, кг	1,35	1,32	1,28	1,33	1,31	1,27	1,31
Затраты комбикорма на 1 кг яичной массы, кг	2,35	2,25	2,14	2,25	2,27	2,18	2,20

В результате исследования вкусовых качеств яиц контрольной и опытных групп кур-несушек не установлено отрицательного влияния суспензии и сухой хлореллы на органолептические свойства яиц.

Применение суспензии хлореллы в наших исследованиях при нарушениях обмена веществ, авитаминозах, желудочно-кишечных расстройствах, а также при ряде инфекционных заболеваний, в том числе вирусных, ускоряло выздоровление животных [9].

**Экономическая эффективность использования хлореллы в рационах кур-несушек.** Был проведен анализ рентабельности производства суспензии водоросли хлореллы в условиях Республики Беларусь.

Данные производственной проверки по использованию суспензии хлореллы и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, подтвердили положительные результаты научно-

производственного опыта. Результаты производственной проверки проводились с 21-й по 68-ю неделю и представлены в табл. 4.

Данные производственной проверки подтвердили положительные результаты научно-производственного опыта. У кур-несушек в 1-м и 2-м новых вариантах была получена более высокая сохранность, которая на 0,6% была выше, чем в контроле. Яйценоскость на начальную несушку в обоих новых вариантах была выше на 23,5 яиц, а интенсивность яйценоскости – на 7,2 %.

Валовое производство яиц в новых вариантах увеличилось на 23 507 и 23 510 штук, или по 8,1 % по сравнению с базовым вариантом кормления. За счет увеличения валового производства и массы яйца дополнительно получено 1866,2 и 1897,8 кг яичной массы, или на 10,3 и 10,5 % больше в сравнении с базовым вариантом.

**Таблица 4. Результаты производственной проверки**

Показатель	Варианты		
	базовый	1-й новый	2-й новый
Начальное поголовье	1000	1000	1000
Сохранность кур, %	97,2	97,8	97,8
Валовое производство яиц, шт.	290 878	314 385	314 388
Валовый расход кормов, кг	39 843	40 310	37 727
Яйценоскость на начальную несушку, шт.	290,9	314,4	314,4
Интенсивность яйценоскости, %	88,4	95,6	95,6
Средняя масса яиц, г	62,0	63,3	63,4
Получено яичной массы, кг	18 034,4	19 900,6	19 932,2
Расход корма на 10 яиц, кг	1,37	1,28	1,20
Расход корма на 1 кг яичной массы, кг	2,21	2,03	1,89
Цена 1 т комбикормов, тыс. бел. руб.	1943,1	1943,1	1943,1
Затраты на производство яиц, тыс. бел. руб.	106 028,7	111 966,6	109 587,0
в том числе:			
зарплата с начислениями, тыс. бел. руб.	7833,3	7833,3	7833,3
стоимость комбикорма, тыс. бел. р.	77 418,9	78 326,4	73 307,3
цена 1 л супензии хлореллы, тыс. бел. руб.	–	1,529	–
цена 1 кг сухой хлореллы, тыс. бел. руб.	–	–	203,3
стоимость супензии и сухой хлореллы, тыс. бел. руб.	–	5030,4	7669,9
прочие прямые расходы, тыс. бел. руб.	10 159,5	10 159,5	10 159,5
накладные расходы, тыс. бел. руб.	10 617,0	10 617,0	10 617,0
Себестоимость 10 яиц, тыс. бел. руб.	3,65	3,56	3,49
Себестоимость 10 яиц, долларов США (курс 8494 бел. руб. за 1 доллар США)	0,430	0,42	0,41
Цена реализации 10 яиц, тыс. бел. руб.	4,25	4,68	4,68
Экономический эффект в расчете на 1000 голов кур-несушек, тыс. бел. руб.	–	16 348,0	18 548,9
Экономический эффект в расчете на 1000 голов кур-несушек, долларов США (курс 8494 бел. руб. за 1 доллар США)	–	1628,5	2183,5

Средняя масса яиц в первом новом варианте на 1,3 г была больше, чем в контроле, во втором – на 1,4 г. Кроме того, отмечено снижение расхода корма на 10 яиц в двух новых вариантах на 0,09 и 0,17 кг, или 6,6 и 12,7 %, и на 1 кг яйцемассы на 0,18 и 0,32 кг, или на 8,1 и 16,9 %.

Экономический эффект в расчете на 1000 кур-несушек при использовании супензии хлореллы составил 16 348,0 тыс. бел. руб., или 1628,5 долларов США, при использовании сухой хлореллы – соответственно 18 548,9 тыс. руб., или 2189,8 долларов США.

**Заключение.** Установлено, что в рационы кур-несушек следует добавлять супензию и сухую хлореллу, выращенные на питательной среде, содержащей кроме основных питательных веществ соли йода и селена, в количествах 10 мг на голову и 1 кг на 1 т комбикорма соответственно. Дальнейшее увеличение количества хлореллы не приводило к увеличению продуктивности кур и снижению расхода корма.

Использование супензии и сухой хлореллы в рационах кур-несушек при проведении производственной проверки позволило увеличить яйценоскость на начальную несушку в обоих

новых вариантах на 23,5 яиц, а интенсивность яйценоскости – на 7,2 %.

Введение в рацион супензии и сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном, способствовало увеличению содержания йода в яйце на 38,4–88,6 и в 3,46–3,64 раза; селена на 49,7–66,0 и в 2,0–2,3 раза соответственно по сравнению с контрольной группой. При этом следует отметить, что разница этих показателей в 5-й и 6-й опытных группах была весьма незначительной. Так, превышение содержания йода и селена в курином яйце 6-й опытной группы составило всего 0,3 и 0,1 % по сравнению с 5-й опытной группой. Следовательно, повышение дозы сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном от 1,0 до 1,2 кг на 1 т комбикорма нецелесообразно, так как это весьма незначительно влияет на содержание этих элементов в курином яйце.

Стоимость сухой хлореллы в рационе кур-несушек превышала стоимость супензии хлореллы в 1,5 раза, но экономический эффект при использовании сухой хлореллы был наибольшим, из-за снижения себестоимости и в результате уменьшения расхода кормов на выращивание единицы продукции.

## Литература

1. **Богданов, Н. И.** Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н. И. Богданов. – Пенза, 2006.
2. **Егоров, И. А.** Использование йода и селена в комбикормах кур-несушек / И. А. Егоров, Ю. А. Пономаренко // Комбикорма. – 2007. – № 3. – С. 79–80.
3. **Егоров, И. А.** Обогащение яиц кур селеном и витамином Е / И. А. Егоров, Г. В. Ивахник, Т. Т. Папазян // Птица и птицепродукты. – 2006. – № 2. – С. 42–44.
4. **Куницын, М. В.** Хлорелла – будущее птицеводства / М. В. Куницын // Птицеводство. – 2009. – № 4. – С. 11–13.
5. **Пономаренко, Ю.** Суспензия хлореллы в рационах птицы / Ю. Пономаренко, Т. Замковец // Птицеводство. – 2007. – № 8. – С. 27.
6. **Пономаренко, Ю. А.** Корма, биологически активные вещества, безопасность : монография / Ю. А. Пономаренко, В. И. Фисинин, И. А. Егоров // Российская академия сельскохозяйственных наук, Национальная академия наук Беларусь. – Минск, 2013.
7. **Пономаренко, Ю. А.** Питательная ценность хлореллы и содержание витаминов, аминокислот, макро-, микроэлементов / Ю. А. Пономаренко, Е. Е. Мананкина // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем : XI съезд Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 17–20 июня 2014 г : сб. ст. Междунар. научн. конф. : в 2 ч. / Ин-т биофизики и клеточной инженерии, Белорусский государственный университет, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований ; редкол. : И. Д. Волотовский [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 2. – С. 125–127.
8. **Рекомендации** по применению кормовой добавки «Суспензия хлореллы для животных и птиц» / М-во сельского хозяйства и продовольствия республики Беларусь, РО «Белптицепром», УО «Витебская гос. акад. ветеринарной медицины», ГНУ «Ин-т биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь» ; разраб. Ю. А. Пономаренко [и др.]. – Минск, 2009.
9. **Ромашко, А. К.** Добавка «Суспензия хлореллы» в кормлении кур-несушек / А. К. Ромашко, В. Ю. Горчаков // Современные технологии сельскохозяйственного производства : XI междунар. науч.-практик. конф. – Гродно, 2008. – С. 189–190.
10. **Фисинин, В.** Качество пищевых яиц и здоровое питание / В. Фисинин, А. Штеле, Г. Ерастов // Птицеводство. – 2008. – № 2. – С. 2–6.
11. **Фисинин, В. И.** Ученые птицеводы России. Люди и птицы / В. И. Фисинин. – М., 2011.
12. **Lipstein, B.** The nutritional value of sewage grown samples of Chlorella and Micractinium in broiler diets / B. Lipstein, S. Hurwitz // Poultry Sci. – 1983. – Vol. 62. – № 7. – Р. 1254–1260.

Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 8.07.2014 г.

Ю. А. Пономаренко

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ХЛОРЕЛЛЫ, ОБОГАЩЕННОЙ ЙОДОМ И СЕЛЕНОМ, В РАЦИОНАХ КУР-НЕСУШЕК**

Представлены научные исследования и показано, что введение в комбикорма кур-несушек суспензии и сухой хлореллы позволяет увеличить продуктивность птицы и значительно – содержание этих микроэлементов в курином яйце, что обогатит продукты питания йодом и селеном.

Исследования показали, что оптимальная доза суспензии и сухой хлореллы, обогащенных йодом и селеном, в рационах кур-несушек составляет 10 мг/гол. (при концентрации 50 млн клеток в 1 мл) и 1 кг на 1 т комбикорма. Дальнейшее увеличение количества хлореллы не приводило к увеличению продуктивности кур и снижению расхода корма. Введение в рацион суспензии хлореллы, обогащенной йодом и селеном, (1–3 опытные группы) способствовало увеличению содержания йода в яйце на 38,4–88,6; селена на 49,7–66,0 в сравнении с контрольной группой.

Введение сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном, (4–6 опытные группы) в комбикорм значительно повлияло на накопление данных микроэлементов в курином яйце. Так, к концу выращивания содержание йода в курином яйце увеличилось в 3,46–3,64 раза, а селена – в 2,0–2,3 раза. При этом следует отметить, что разница этих показателей в 5 и 6-й опытных группах была весьма незначительной. Так, превышение содержания йода и селена в курином яйце 6-й опытной группы составило всего 0,3 и 0,1 % по сравнению с 5-й опытной группой. Следовательно, повышение дозы сухой хлореллы, обогащенной йодом и селеном с 1,0 до 1,2 кг на 1 т комбикорма нецелесообразно, так как это весьма незначительно влияет на содержание этих элементов в мясе и печени цыплят-бройлеров.

*U. A. Ponomarenko*

**EFFECTIVENESS OF CHLORELLA USAGE WITH IODINE  
AND SELENIUM IN LAYING HENS DIET**

---

*Research are presented and show that the introduction of suspensions and dry chlorella in feed hens can increase the productivity of poultry and significantly – the content of these trace elements in a chicken egg that will enrich foods with iodine and selenium.*

*Studies have shown that the optimal dose of slurry and dry chlorella, fortified with iodine and selenium in the diets of laying hens is 10 mg / goal. (at a concentration of 50 million cells in 1 ml) and 1 kg per ton of feed. Further increase in the number of chlorella is not lead to an increase of productivity and reduction of chickens feed flow. Introduction to the suspension of chlorella diet rich in iodine and selenium (1–3 experimental groups) helped to increase the iodine content in the egg on 38,4–88,6; 49,7–66,0 selenium in comparison with the control group.*

*The introduction of dry chlorella rich in iodine and selenium (4–6 experimental groups) to the feed significantly influenced the accumulation of trace data in a chicken egg. Thus, by the end of the growing the iodine content in the growing chicken egg increased 3,46–3,64 times, and selenium – to 2.0–2.3 times. It should be noted that the difference in these figures 5th and 6th experimental groups was very small. Therefore, increasing the dose of dry chlorella, rich in iodine and selenium from 1.0 to 1.2 kg per 1 ton of feed is impractical because it is a very minor effect on the content of these elements in meat and liver of broiler chickens.*

**Т. Я. Царюк, И. П. Фалюшина**

## ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАПСОВОГО МАСЛА КАК КОМПОНЕНТЫ КОНСЕРВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Исследованы физико-химические и защитные свойства продуктов переработки рапсового масла и показана возможность их использования в качестве базовых и функциональных компонентов консервационных материалов.*

В настоящее время подавляющее большинство смазочных и консервационных материалов производится на основе нефтяного сырья. Однако их широкое применение может приводить к попаданию вредных и трудно разлагающихся органических соединений в почву и воду. В последнее время в мире все большее распространение получают экологически безопасные консервационные и смазочные материалы из альтернативных источников сырья, прежде всего растительного происхождения. Наиболее широко используются растительные масла различных видов маслосодержащего сырья, например рапсовое, подсолнечное, соевое и др., жирные кислоты – олеиновая, стеариновая и т. п., а также побочные и остаточные продукты масложировой промышленности [3, 5, 6].

В технических целях в нашей стране наиболее доступно из растительных масел рапсовое, которое является сырьем для получения биотоплива – метиловых эфиров жирных кислот. Существуют несколько различных технологических схем переработки рапсового масла на технические цели, однако все они включает стадию его предочистки, трансэтерификации и обработки соапстока [2]. На стадии предочистки методами физической или химической рафинации наряду с очисткой масла от примесей, фосфатидов происходит выделение свободных жирных кислот, преимущественно олеиновой, как ценного химического сырья. На этапе трансэтерификации, т. е. получения целевого продукта, происходит смешивание рапсового масла с метиловым спиртом в присутствии KOH в качестве катализатора и в результате получается смесь, которой дают отстояться. Легкие верхние фракции продукта являются собственно биодизельным топливом – метиловым эфиром жирных кислот рапсового масла. Нижние фракции являются так называемой глицериновой фазой (хранение и утилизация которой представляют серьезную проблему из-за повышенной щелочности и содержания метанола), и кубовым остатком производства метиловых эфиров.

Цель данной работы – исследование возможности использования продуктов переработки рапсового масла в качестве компонентов консервационных материалов. Объектами исследования служили рапсовое масло и продукты его

переработки для технических целей – олеин, метиловые эфиры жирных кислот, кубовый остаток метиловых эфиров и глицериновая фракция.

Для оценки физико-химических свойств объектов исследования использовали стандартные методы оценки нефтепродуктов. Кинематическую вязкость определяли по ГОСТ 33–2000 (расхождение между временем истечения двух определений не превышало 0,5 % среднеарифметического), температуру застывания – по ГОСТ 20287–91 (расхождение между двумя параллельными измерениями не превышало 1 °C), температуру вспышки – по ГОСТ 4333–87.

Физическую стабильность растворов объектов исследования в индустриальном масле И-20А оценивали по наличию осадка, образующегося при их хранении в течение 30 сут при температуре 20 °C.

Эмульгирующую способность определяли при соотношении вода : объект исследования как 4 : 1 после встряхивания в течение 1 мин в делильной воронке. Критериями служили объемы образуемых при этом пен и эмульсии, а также их стойкости в течение 24 ч.

Защитные свойства устанавливали с помощью методов ускоренных испытаний по ГОСТ 9.054–75 при воздействии повышенной влажности, температуры и сернистого ангидрида с периодической конденсацией влаги; при постоянном погружении в электролит (искусственную морскую воду); при воздействии 0,1 %-ного раствора бромистоводородной кислоты. Критериями оценки служили потеря массы пластины из стали марки 10 после удаления продуктов коррозии (ее определяли гравиметрическим методом, при этом отклонения параллельных измерений от среднеарифметического значения составляло не более 5 %), а также площадь коррозионного поражения стали.

Эффективность ингибирования объектами исследования минеральных масел и углеводородных растворителей определяли по формуле [1]:

$$\mathcal{E} = (\Delta m_{\text{н.м.}} - \Delta m_{\text{и.м.}}) \cdot 100 / \Delta m_{\text{н.м.}}$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность ингибитора коррозии, %;  $\Delta m_{\text{н.м.}}$  – потеря массы стальной пластины под слоем неингибионного масла;  $\Delta m_{\text{и.м.}}$  – потеря массы стальной пластины под слоем ингибионного масла.

Краткая характеристика физико-химических свойств и химической структуры объектов исследования представлена ниже.

▪ Рапсовое масло техническое – темно-желтая с зеленоватым оттенком жидкость со специфическим запахом, имеющая следующие физико-химические показатели: цветное число – 8 мг йода, кислотное число – 3,5 мг КОН/г, йодное число – 109 мг йода/100г, массовая доля неомыляемых веществ – 1,2 %, массовая доля влаги и летучих веществ – 0,12 %, кинематическая вязкость при 40 °С – 36 сСт. Рапсовое масло состоит из преобладающего количества мононенасыщенных кислот олеинового ряда и незначительного содержания ди- и триненасыщенных. Среднее содержание жирных кислот в масле: эруковой – 49 %, олеиновой – 32, линолевой – 15, линоленовой – 1, насыщенных – 3 %.

▪ Олеин представляет собой смесь дистиллированных жидких жирных кислот, получаемых при расщеплении жиров и масел. По физико-химическим характеристикам это жидкость желтого цвета с кислотным числом 190 мг КОН/г, йодным числом 95 г йода/100 г, массовой долей неомыляемых веществ – 2,0 %, массовой долей жирных кислот в безводном продукте – 98,6 %, числом омыления 195 мг КОН/г. Содержит преимущественно олеиновую кислоту, а также линоловую, пальмитиновую и др. кислоты.

▪ Метиловые эфиры – маловязкая жидкость желто-зеленого цвета массовая доля эфиров – 97,5 %, вязкость кинематическая при 40 °С – 4,2 мм<sup>2</sup>/с, плотность – 868 кг/м<sup>3</sup>, содержание серы – 5 мг/кг, кислотное число – 0,3 мг КОН /см<sup>3</sup>.

▪ Кубовый остаток метиловых эфиров представляет собой жидкость темно-коричневого цвета, характеризующуюся следующими параметрами: плотность при 70 °С – 913 кг/м<sup>3</sup>; температура плавления – 28,5 °С; кислотное число – 9 мг КОН/г, эфирное число – 110 мг КОН/г. Следует отметить, что кубовый остаток метиловых эфиров содержит значительное количество примесей в виде твердых частиц и при его использовании необходима фильтрация.

▪ Глицериновая фракция – вязкая жидкость коричневого цвета плотностью 1115 кг/м<sup>3</sup> со значительным содержанием водной фазы.

Химическая структура объектов исследования была изучена методом ИК-спектроскопии, позволившим выявить следующие полосы поглощения:

рапсовое масло – 3005 сл., узкая ( $\nu_{C=C}$  несопряженные), 2925, 2855 о.с. ( $\nu_{CH_2,CH_3}$ ), 1745 о.с. ( $\nu_{C=O}$  сложных эфиров), 1460, 1375 сл. ( $\delta_{CH_2}$ ,

$CH_3$ ), 1240( $\nu_{C-O}$  сложных эфиров), 1165, 1100, 725 сл. ( $\rho_{CH_2}$ );

олеиновая кислота – 3200–2600 сл., о.ш. ( $\nu_{OH...}$  димеров кислот), 3005 сл., узкая ( $\nu_{C=C}$  несопряженные), 2925, 2855 о.с. ( $\nu_{CH_2,CH_3}$ ), 1710 ( $\nu_{C=O}$  орг. кислот), 1460 сп., 1413( $\nu_{O-CH_3}$ ), 1375 сл. ( $\delta_{CH_2, CH_3}$ ), 1283, 940, 925 ( $\nu_{C-O}$  кислот), 725 сл. ( $\rho_{CH_2}$ );

метиловые эфиры – 3005 сл., узкая ( $\nu_{C=C}$  несопряженные), 2925, 2855 о.с. ( $\nu_{CH_2,CH_3}$ ), 1745 о.с. ( $\nu_{C=O}$  сложных эфиров), 1460, 1445( $\nu_{O-CH_3}$ ), 1365 сл. ( $\delta_{CH_2, CH_3}$ ), 1245( $\nu_{C-O}$  сложных эфиров), 1200, 1170, 1120, 725 сл. ( $\rho_{CH_2}$ );

кубовый остаток производства метиловых эфиров – 3005 сл., узкая ( $\nu_{C=C}$  несопряженные), 2925, 2855 о.с. ( $\nu_{CH_2,CH_3}$ ), 1745 о.с. ( $\nu_{C=O}$  сложных эфиров), 1460, 1375 сл. ( $\delta_{CH_2, CH_3}$ ), 1240 ( $\nu_{C-O}$  сложных эфиров), 1165, 1100, 725 сл. ( $\rho_{CH_2}$ );

глицериновая фракция – 3375 о.с., 3005 о.сл., 2925, 2855 сл. ( $\nu_{CH_2,CH_3}$ ), 1645, 1560, 1410, 1110, 1045, 995, 920, 860, 670-560-480 сп.ш.

Анализ химической структуры продуктов переработки рапсового масла свидетельствует, что они содержат значительное количество органических кислот и сложных эфиров, что позволяет предполагать довольно высокий уровень их защитной эффективности.

Физико-химические характеристики продуктов переработки рапсового масла, обусловливающие технологичность применения консервационных материалов (кинематическая вязкость, температуры вспышки и застывания), позволяют рассматривать их как основу консервационных и смазочных материалов различного назначения (табл. 1). В то же время химическая структура этих продуктов, характеризующаяся значительным содержанием кислородсодержащих органических соединений (высшие жирные кислоты, эфиры), предполагает их использование в качестве маслорастворимых ингибиторов коррозии. В связи с этим были изучены свойства этих продуктов как базовых компонентов в концентрации 100 %, так и в качестве защитных присадок в концентрации 10 % в минеральном масле И-20А.

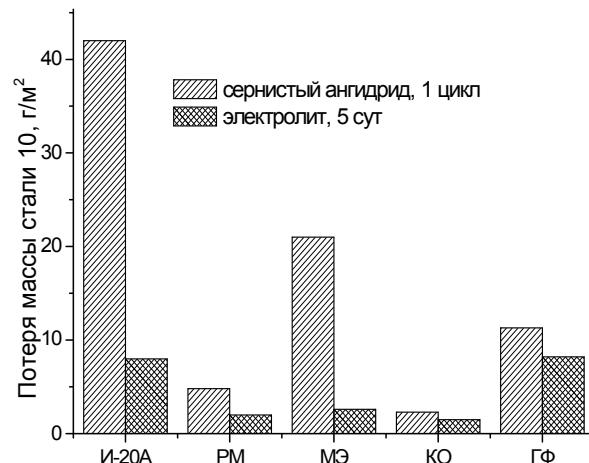
В результате оценки защитных свойств исследуемых продуктов в концентрации 100 % при воздействии сернистого ангидрида установлено (рис. 1), что все они значительно превосходят минеральное масло И-20А по этому показателю, при этом наиболее эффективными являются рапсовое масло и кубовый остаток производства метиловых эфиров, защитная способность которых в 10–20 раз выше, чем у масла И-20А. Уровень защитных свойств глицериновой фракции выше, чем у минерального масла, в 3,5 раза, а метиловых эфиров – в 2 раза.

**Таблица 1. Физико-химические свойства продуктов переработки рапсового масла**

Исследуемый продукт	Вязкость кинематическая при 25 °C, мм <sup>2</sup> /с	Температура вспышки в открытом тигле, °C	Температура застывания, °C
Рапсовое масло (РМ)	70,1	240	-25
Олеин (ОК)	90,2	210	14
Метиловые эфиры (МЭ)	6,4	150	-21
Кубовый остаток метиловых эфиров (КО)	79,1	242	-16
Глицериновая фракция (ГФ)	123,5	185	-18

В условиях воздействия электролита наиболее высоким уровнем защитных свойств характеризуется кубовый остаток производства метиловых эфиров, превосходящий масло И-20А по данной характеристике в 5,3 раза, несколько уступают ему рапсовое масло и метиловые эфиры – в 3–4 раза. Глицериновая фракция по защитной эффективности в электролите находится на уровне минерального масла.

Консервационные и смазочные материалы могут входить в контакт с водой, способный вызвать их эмульгирование, приводящее к изменению эксплуатационных свойств. С другой стороны, высокая эмульгируемость позволяет рассматривать эти компоненты как базовые при создании эмульсионных смазок различного назначения. В связи с этим проведена оценка эмульгирующей способности исследуемых продуктов (табл. 2).

**Рис. 1. Защитная эффективность продуктов переработки рапсового масла****Таблица 2. Эмульгируемость продуктов переработки рапсового масла**

Исследуемый продукт	Время отстоя эмульсии, ч	Содержание фаз в системе вода–масло при их соотношении 4:1, об. %			
		пена	масло	эмulsionия	вода
И-20А	0,1	–	20	–	80
	1	–	20	–	80
	24	–	20	–	80
Рапсовое масло	0,1	–	–	100	–
	1	–	10	18	72
	24	–	10	12	78
Олеин	0,1	28	–	80	–
	1	10	10	32	50
	24	–	18	10	72
Метиловые эфиры	0,1	–	–	25	75
	1	–	15	10	75
	24	–	19	5	76
Кубовый остаток метиловых эфиров	0,1	10	–	100	–
	1	–	–	100	–
	24	–	–	40	60
Глицериновая фракция	0,1	70	–	80	–
	1	20	–	80	–
	24	–	–	80	20

Установлено, что все исследованные компоненты в отличие от минерального масла в той или иной мере обладают способностью к эмульгированию, при этом в наибольшей степени это характерно для глицериновой фракции и кубового

остатка производства метиловых эфиров. По стойкости эмульсии объекты исследования в порядке ее возрастания располагаются следующим образом: метиловые эфиры, олеин, рапсовое масло, кубовый остаток метиловых эфиров, гли-

цериновая фракция. Глицериновая фракция и олеин характеризуются также склонностью к пенообразованию.

Таким образом установлено, что по комплексу физико-химических характеристик и защитных свойств в качестве компонентов комбинированной основы консервационных и смазочных материалов целесообразно использовать рапсовое масло и кубовый остаток производства метиловых эфиров, характеризующиеся значительно более высокой защитной эффективностью по сравнению с индустриальными маслами, а также метиловые эфиры как маловязкий компонент. Глицериновая фракция может быть использована при создании защитных составов на водной основе и различных технологических эмульсий.

Для установления возможности использования продуктов переработки рапсового масла в качестве защитных компонентов консервационных материалов проведены исследования этих объектов в концентрации 10 % в индустриальном масле И-20А. Исходя из химической структуры исследуемых продуктов, их, согласно классификации Ю. Н. Шехтера [8], по механизму защитного действия можно отнести к ингибиторам хемосорбционного типа. При этом часть из них, например олеин, являются акцепторами электронов и будет сорбироваться на поверхности металла по протонизированному атому водорода, а продукты, содержащие в основном сложные эфиры (рапсовое масло, метиловые эфиры и кубовый остаток), являются донорами электронов, сорбирующими на металлическую поверхность по атому кислорода карбоксильной группы.

Изучение растворимости и физической стабильности продуктов переработки рапсового масла в минеральном масле показало, что все они, за исключением глицериновой фракции, хорошо растворяются в масле И-20А при температуре окружающей среды, образуя при этом стабильные растворы. Глицериновая фракция растворяется в минеральном масле лишь при температурах выше 45 °С, а ее раствор характеризуется низкой физической стабильностью (осадок выпадает после охлаждения).

Оценка защитной эффективности 10 %-ных растворов объектов исследования показала (рис. 2), что в данной концентрации глицериновая фракция и метиловые эфиры не оказывают ингибирующего действия на минеральное масло ни в сернистом ангидриде, ни в электролите.

В условиях воздействия сернистого ангидрида рапсовое масло и кубовый остаток производства метиловых эфиров повышают защитные свойства масла в 1,4 раза, а лучшим является олеин, введение которого в индустриальное масло приводит к возрастанию его защитной эффективности в 11 раз.

В электролите максимальной защитной эффективностью обладает кубовый остаток производства метиловых эфиров, который позволяет повысить защитные свойства минерального масла в этих условиях в 3,5 раза, несколько уступают ему олеин и рапсовое масло, улучшающие эту характеристику масла в 2,7 и 2,2 раза.

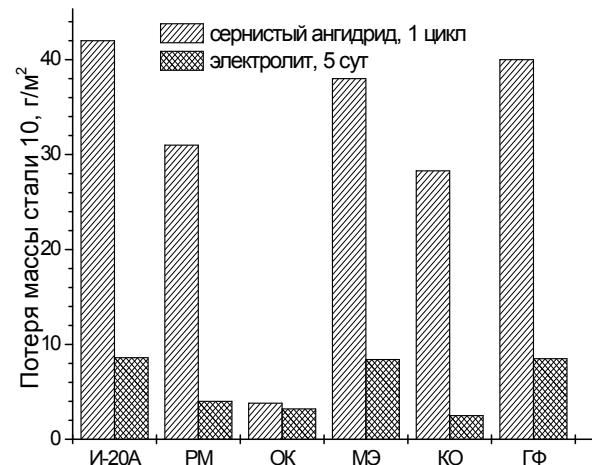


Рис. 2. Защитная эффективность 10 %-ных растворов продуктов переработки рапсового масла в И-20А

Оценка вытесняющей способности объектов исследования позволила установить, что в концентрации 100 % все они в отличие от минерального масла И-20А характеризуются высокой способностью к вытеснению бромистоводородной кислоты, при этом лучшей является глицериновая фракция, полностью удаляющая кислоту с поверхности металла. В концентрации 10 % полностью удаляет кислоту с поверхности металла лишь олеин, а наименее эффективными являются метиловые эфиры, которые, несмотря на высокую вытесняющую способность в концентрации 100 %, в концентрации 10 % улучшают эту характеристику масла И-20А лишь в 2 раза (табл. 3).

Анализ полученных данных показал, что наиболее перспективными для использования в качестве маслорастворимых ингибиторов коррозии при создании консервационных материалов являются кубовый остаток производства метиловых эфиров и олеин.

Эффективность маслорастворимых ингибиторов коррозии зависит не только от типа функциональных групп и структуры углеводородных радикалов [7, 9]. Существенное влияние также оказывает коллоидная структура базового масла. Известно, что минеральные масла, даже без присадок, представляют собой сложные смеси углеводородов и гетероорганических соединений. Интенсивность и характер образования сложных структур в маслах зависят от группового

химического состава масел и температуры [4]. Состав масел оказывает значительное влияние на их приемистость к ингибиторам коррозии, что

объясняется особенностями характера их межмолекулярного взаимодействия с различными группами углеводородов масляной среды.

**Таблица 3. Вытесняющие свойства продуктов переработки рапсового масла**

Исследуемый продукт	Вытеснение бромистоводородной кислоты, площадь коррозионного поражения, %	
	концентрация 100 %	концентрация 10 %
И-20А	95,0	—
Рапсовое масло	1,0	4,0
Олеин	—	0
Метиловые эфиры	1,5	45,0
Кубовый остаток метиловых эфиров	2,0	20,0
Глицериновая фракция	0	5,0

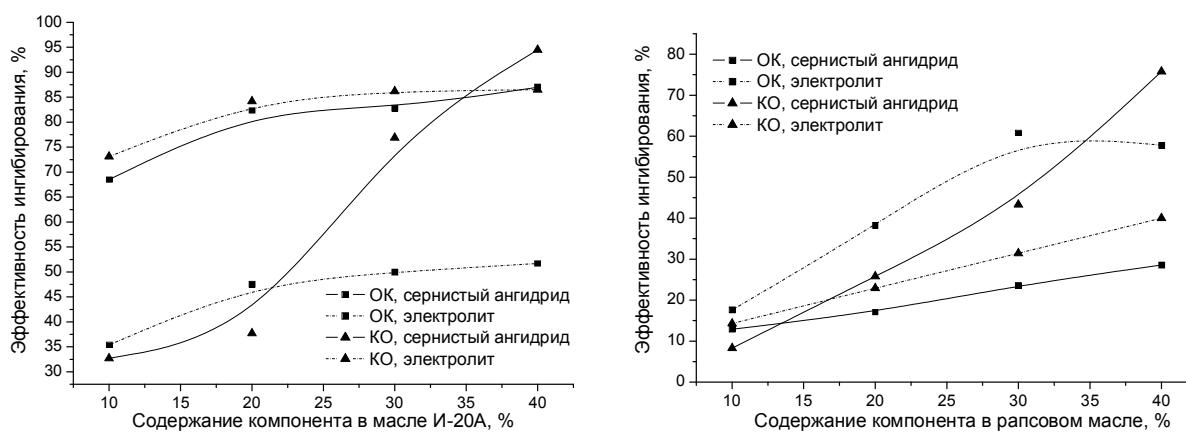
Для установления зависимости защитной эффективности продуктов переработки рапсового масла от химической структуры основы была проведена оценка их способности ингибировать базовые масла. В качестве таких масел были использованы существенно различающиеся по химической структуре нефтяное масло И-20 А и масло растительного происхождения – рапсовое.

Масло И-20 А представляет собой смесь наftenовых углеводородов с присоединенными к кольцу длинными боковыми цепями парафинов, рапсовое масло – смесь триглицеридов высших жирных кислот и сопутствующих им веществ, извлекаемых из растительного маслосодержащего сырья.

В качестве ингибиторов коррозии были использованы наиболее перспективные для создания консервационных и смазочных материалов продук-

ты – олеин и кубовый остаток производства метиловых эфиров. Защитные свойства 10–40 %-ных растворов этих компонентов в базовых маслах были исследованы в условиях воздействия сернистого ангидрида и электролита (рис. 3).

Максимальная эффективность олеина как ингибитора коррозии проявляется в условиях воздействия сернистого ангидрида при использовании в качестве основы минерального масла И-20А. Так, при введении уже 10 % олеина в это масло эффективность ингибирования составляет 70 %, в то время как в рапсовом масле лишь 12 %. В электролите влияние химической структуры основы не столь заметно и проявляется в концентрации олеина 10 %, а при дальнейшем увеличении содержания этого ингибитора в маслах оно нивелируется.



**Рис. 3. Эффективность ингибирования индустриального и рапсового масел**

Иная картина наблюдается при использовании в качестве ингибитора коррозии кубового остатка производства метиловых эфиров: максимальный ингибирующий эффект проявляется в электролите. При этом в случае минерального масла увеличение концентрации ингибитора коррозии практически не оказывает влияния на его эффективность, а в рапсовом масле она воз-

растает в 2 раза. В условиях воздействия сернистого ангидрида эффективность ингибирования минерального масла выше, чем рапсового. Однако если увеличение концентрации кубового остатка в рапсовом масле вызывает линейный рост его ингибирующей способности, то в минеральном масле повышение эффективности этого

ингибитора происходит лишь при его содержании более 20 %.

Таким образом, анализ полученных данных показал, что по комплексу вязкостных, низкотемпературных, вытесняющих и защитных свойств метиловые эфиры, кубовый остаток производства метиловых эфиров, рапсовое масло могут быть использованы в качестве базовых компо-

нентов консервационных и смазочных материалов, а олеин и кубовый остаток производства метиловых эфиров, обладающие высокими защитными и вытесняющими свойствами в концентрации 10 %, могут найти применение как функциональные компоненты консервационных материалов различного назначения.

### Литература

1. Гришин, Н. Н. Массоперенос ингибиторов коррозии пластичных смазок на поверхность металла / Н. Н. Гришин [и др.] // Химия и технология масел и смазок. – 1991. – № 4. – С. 14–16.
2. Давыдова, Е. М. Развитие топливного рынка ЕС: биодизельное топливо – возобновляемый энергетический ресурс / Е. М. Давыдова, В. Хартен, Н. Н. Пасхин // Масложировая промышленность. – 2005. – № 4. – С. 22–24.
3. Кулиев, Р. Ш. Улучшение антиокислительных и анткоррозионных свойств растительных масел / Р. Ш. Кулиев [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 1. – С. 41–43.
4. Лахши, В. Л. Коллоидная химия смазочных масел (в условиях применения) / В. Л. Лахши, И. Г. Фукс, Г. И. Шор // Химия и технология топлив и масел. – 1991. – № 6. – С. 16–20.
5. Савченко, О. Н. Использование модифицированных растительных масел в противокоррозионной защите стали / О. Н. Савченко, О. И. Сизая // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 4. – С. 14–18.
6. Симирский, В. В. Перспективы использования возобновляемого масличного сырья в Республике Беларусь / В. В. Симирский [и др.] // Рапс: масло, белок, биодизель : матер. междунар. науч-техн. конференции, 25–27 сентября 2006 г., г. Жодино. – Минск, 2006. – С. 154–161.
7. Шехтер, Ю. Н. Поверхностно-активные вещества из нефтяного сырья / Ю. Н. Шехтер, С. Э. Крейн. – М. 1972.
8. Шехтер, Ю. Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества / Ю. Н. Шехтер, С. Э. Крейн, Л. Н. Тетерина – М. 1978.
9. Шехтер, Ю. Н. Рабоче-консервационные смазочные материалы / Ю. Н. Шехтер [и др.]. – М. 1979.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 29.08.2014 г.

**T. Я. Царюк, И. П. Фалюшина**

### **ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАПСОВОГО МАСЛА КАК КОМПОНЕНТЫ КОНСЕРВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В результате изучения химической структуры, физико-химических, защитных и вытесняющих свойств, а также эмульгирующей способности продуктов переработки рапсового масла показана целесообразность их использования как базовых и функциональных компонентов консервационных и смазочных материалов различного назначения. Установлена зависимость защитной эффективности олеина и кубового остатка производства метиловых эфиров от химической структуры базового масла.

**T. Y. Tsaruk, I. P. Falushina**

### **PRODUCTS OF RAPSEED OIL RECYCLING AS COMPONENTS OF CONSERVATION MATERIALS**

*As the result of chemical, physical-chemical, protective and displacing properties study and also the emulsifying ability of rapeseed oil recycling, the extensivity of their usage as basic and functional components of conservation and lubricants for various purposes is shown. The dependence of the protective efficacy of olein and bottoms production of methyl esters from the chemical structure of the base oil is set.*

**Б. В. Лесун****РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА И ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ**

*Рассмотрено использование местных видов топлива (МВТ) и вторичных энергоресурсов (ВТЭР) для замены дорогостоящих импортных составляющих сырьевой смеси (уголь, антрацит) на фрезерный торф, дробленые топливные брикеты, а также древесные опилки при получении пористых строительных материалов на основе аглопорита. Разработаны математические модели по определению коэффициента влагопроводности, а также показано влияние различного содержания в смеси суглинков, торфяной крошки и угля на прочность аглопорита. Определены зависимости прочности аглопорита от его плотности при добавлении измельченных брикетов и древесных опилок.*

В настоящее время в республике уделяется большое внимание вопросам ресурсо- и энергосбережения. Для получения высококачественных, прочных и надежных строительных материалов необходимо подбирать и тщательно анализировать исходные компоненты с точки зрения рентабельности и ресурсосбережения. Так, на Минском заводе строительных материалов производятся аглопоритный песок, гравий и щебень, которые применяются в промышленности в качестве добавок в разные виды бетонов. На карьерах «Ольшанка» и «Фаниполь» (Минский район) при добыве сырья, которое используют для производства кирпича, значительное количество вскрышных пород поступает в отходы, которые могут утилизироваться в производстве аглопорита.

Опыт работы действующих аглопоритовых предприятий, использующих в качестве технологического топлива низкосортные угли, а также результаты предварительных исследований по сжиганию углей с различным содержанием летучих в агломерируемом слое и анализ технологических характеристик торфа позволяют рекомендовать проведение исследований и разработку технологических параметров производства аглопорита при замене угля местными видами топлива.

Большое количество отходов и потерь на горно-перерабатывающих предприятиях предопределяет необходимость решения проблемы рационального использования местных минеральных ресурсов. В зависимости от их химического и минералогического состава они могут использоваться в качестве добавок при производстве промышленной продукции.

При агломерации силикатного сырья замена антрацита и угля на местные виды топлива является актуальной проблемой. Однако использование топлива с малой теплотворной способностью требует разработки способов более эффективного их сжигания в агломерируемом слое шихты.

Среди различных отходов в процессах агломерации могут быть использованы некондиционные брикеты, которые частично образуются при прессовании фрезерного торфа и их подаче на

кулерины. Эти отходы образуются на каждом торфобрикетном заводе, и составляют до двух процентов от суточной производительности завода [1, 2]. В табл. 1 приведены физико-механические свойства фрезерного торфа и торфяных брикетов, которые использовались для получения аглопорита. Следует отметить, что подобранные образцы фрезерного торфа и брикетов по зольности, влажности и механической прочности [4] соответствовали требованиям для получения аглопоритового щебня и песка по стандарту СТБ 1217-2000 «Щебень аглопоритовый». Влажность фрезерного торфа в различных партиях поставки колебалась от 48,6 до 54,4 %, а насыпная его плотность от 398 до 494 кг/м<sup>3</sup>, что оказывало влияние на свойства торфяных брикетов (влажность, зольность и механическая прочность).

При измельчении торфяных брикетов использовалась валковая дробилка. В табл. 2 представлены данные фракционного состава торфяных брикетов после дробления с различных торфобрикетных заводов Республики Беларусь. Основная фракция от 1 до 6 мм составляет 33,8 %, меньше 1 мм – 18,3, от 6 до 10 мм – 14,6 %, что в сумме составляет 66,7 %. Эти фракции, согласно разрабатываемому процессу, использовались в производстве аглопоритового щебня и песка. Фракции выше 10 мм дополнительно проходили измельчение и сортировку на инерционных грохотах.

Показатели качества брикетов: механическая прочность не менее 94 % по СТБ 1919-2001; плотность до 1200 кг/м<sup>3</sup>; размеры: длина 180 мм, ширина 70 мм; высота от 40–70 мм.

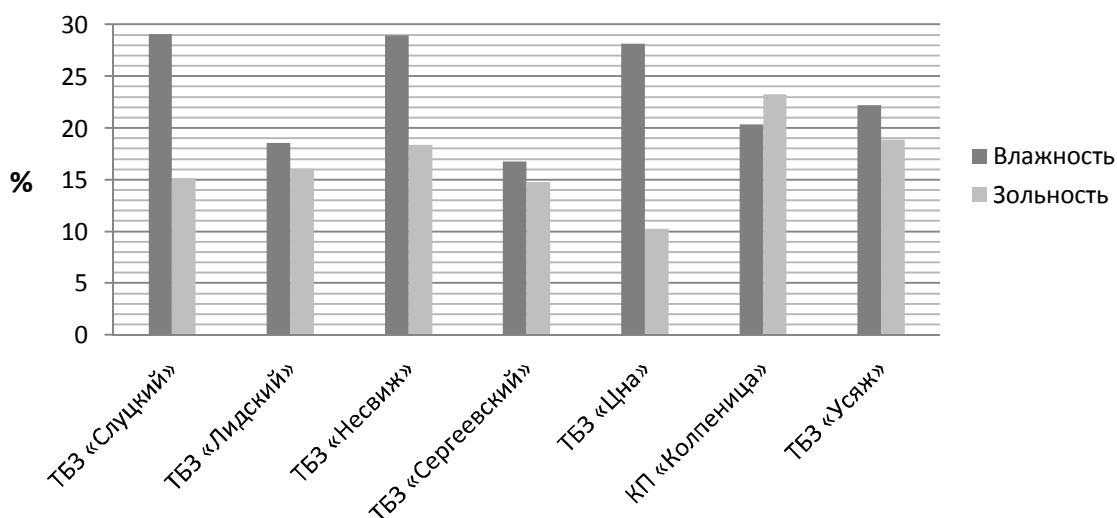
Проведенный анализ показал, что качество брикетов, поставляемых на переработку на ОАО «ТБЗ Усяж» (участок дробления), не отличается стабильностью (рис. 1). Например, зольность и влажность брикетов разных предприятий меняется от 16,8 до 29,1 % по влажности и от 10,3 до 23,3 % по зольности. Эти качества брикетов после их дробления являются важными характеристиками для дальнейшего использования в технологии получения аглопорита.

**Таблица 1. Физико-механические свойства фрезерного торфа и торфяных брикетов**

Номер пробы, п/п	Влажность сырья, %	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность брикета, %	Зольность брикета, %	Механическая прочность, %
1	52,0	430	20,0	22,0	95,6
2	48,6	494	19,0	22,5	95,1
3	50,4	458	20,2	23,0	94,9
4	50,3	461	20,1	22,5	95,4
5	51,0	460	20,0	23,0	95,0
6	52,1	444	20,5	22,0	95,4
7	53,9	411	21,0	21,5	95,0
8	52,3	427	20,0	22,1	95,1
9	53,0	430	20,0	21,0	95,0
10	53,1	431	20,0	22,0	95,4
11	54,4	404	20,0	22,5	95,2
12	53,5	419	20,0	21,8	95,2
13	52,8	431	20,0	22,5	95,0
14	54,3	398	20,0	22,5	95,6
15	53,3	419	20,0	22,5	95,4

**Таблица 2. Определение фракционного состава топлива на основе торфяных брикетов после дробления**

Размер фракции, мм	ТБЗ «Старобинский» (участок «Слуцкий»)		ТБЗ «Несвиж»		ТБЗ «Сергеевичский»		Среднее, %
	кг	%	кг	%	кг	%	
25–40	0,14	1,5	0,34	3,6	0,28	3,2	2,8
13–25	1,74	18,8	2,38	25,4	1,6	18,5	20,9
10–13	0,96	10,4	0,84	9,0	0,82	9,5	9,6
6–10	1,28	13,9	1,32	14,0	1,4	16,1	14,6
1–6	3,32	35,9	3,0	32,0	2,9	33,4	33,8
Меньше 1	1,8	19,5	1,5	16,0	1,67	19,3	18,3
ИТОГО	9,24	100	9,38	100	8,67	100	100

**Рис. 1. Показатели влажности и зольности торфяных брикетов для измельчения**

Следует отметить, что наиболее удачными способами усреднения по зольности и влажности является способ, реализуемый в штабелях, а также технология с разгрузкой от бункеров, где среднее значения по зольности составляет 16,8 %, а по влажности – 22,8 %. Анализ известных спектральных моделей и способов усреднения [3] показал, что модели способов строятся быстрее и проще, если преобразование применяется непосредственно к функции качества продукции. По основным качественным характеристикам (влажность, зольность) торфяные брикеты значительно отличаются, что играет отрицательную роль при приготовлении сырьевой смеси. Поэтому усреднение сырья является важной задачей улучшения качества сырьевой смеси.

Для производства аглопорита могут использоваться вскрышные породы, которые являются промышленными отходами при добыче силикатных песков. По своему химическому со-

ставу вскрышные породы (суглинки) месторождения песков «Ольшанка» Минской области могут использоваться для производства аглопорита с добавками местного топлива на основе торфа и вторичных энергоресурсов на основе древесных опилок и лигнина, являющихся отходами в деревообрабатывающей и гидролизной промышленности. Взятые для исследований суглинки месторождения песка и песчано-гравийной смеси «Ольшанка» имеют следующие химико-физические данные, %:  $\text{SiO}_2$  – 77,0–80,8;  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  – 9,1–9,6;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,4–2,8;  $\text{MgO} + \text{CaO}$  – 1,5–4,4;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  – 3,5–3,8 [1, 2].

На основании предварительных опытов были выбраны уровни факторов и интервалы их варьирования (табл. 3): торфяная крошка – 2–3 %, суглинки – 87–89 %, уголь – 7–8 %. Математическое планирование эксперимента проводилось по методике, где однородность дисперсии определялась по критерию Кохрена.

**Таблица 3. Уровни факторов и интервалы их варьирования**

Серия опытов	Фактор	Суглинки – С		Торфяная крошка – Т		Уголь – У	
		$X_1$ , %	$x_1$	$X_2$ , %	$x_2$	$X_3$ , %	$x_3$
1	Основной уровень $X=0$	88	0	2,5	0	7,5	0
2	Интервал варьирования	1		0,5		0,5	
3	Верхний уровень $X=+1$	89	+1	3	+1	8	+1
4	Нижний уровень $X=-1$	87	-1	2	-1	7	-1

В табл. 4 указаны математические значения факторов ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ) и физические значения факторов ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ), что соответствует С, Т, У. Введение в шихту торфяной крошки показало, что прочность полученного аглопоритового щебня и его плотность соответствуют техническим требованиям [6].

**Таблица 4. Результаты опытов по определению прочности аглопоритового щебня при сдавливании в цилиндре**

Серия опытов	Уровень факторов			Параметр оптимизации, МПа
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	
1	–	–	–	1,18
2	+	+	+	1,94
3	–	+	+	2,27
4	+	–	–	1,80

Для серии опытов по определению прочности аглопоритового щебня уравнение регрессии будет выглядеть следующим образом:

$$\Pi = 1,79 + 1,29 \cdot x_1 + 1,23 \cdot x_2 + 0,30 \cdot x_3. \quad (1)$$

Из полученной модели (1) определяется влияние параметров сырьевой смеси на прочность аглопорита. Видно, что наибольшее влияние на прочность аглопорита оказывает изменение в сырьевой смеси количества суглинков и органических составляющих на основе торфяной крошки (коэффициенты соответственно 1,29, 1,23 и 0,3).

Зависимость прочности аглопоритового щебня от его плотности с добавкой измельченных брикетов показана на рис. 2. Результаты опытов по определению прочности аглопоритового щебня с добавкой опилок представлены на рис. 3. Видно, что с увеличением плотности аглопорита его прочность изменяется по линейному закону и отличие составляет до 2–5 % в пользу сырьевой смеси, в состав которой входит измельченный торфяной брикет. Это свидетельствует о целесообразности его применения в технологии из-за низкой себестоимости производства по сравнению с импортными составляющими на основе углей и антрацита.

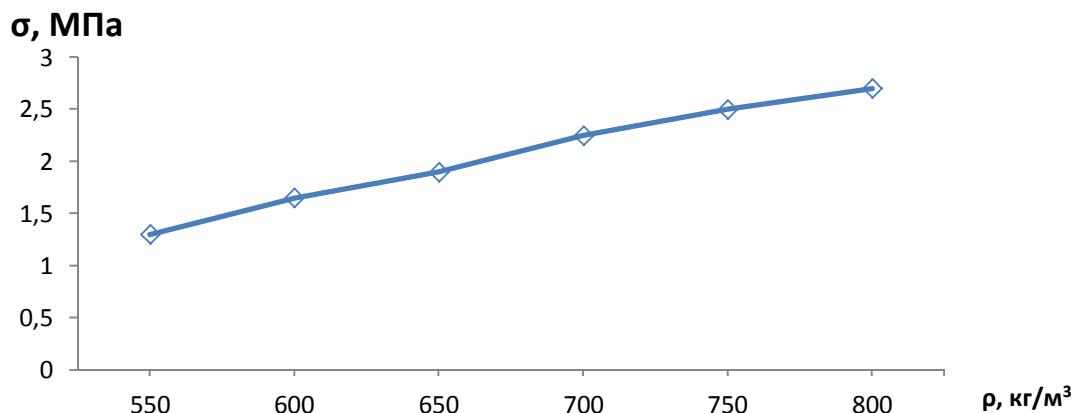


Рис. 2. Зависимость прочности аглопорита от его плотности с добавкой измельченных брикетов

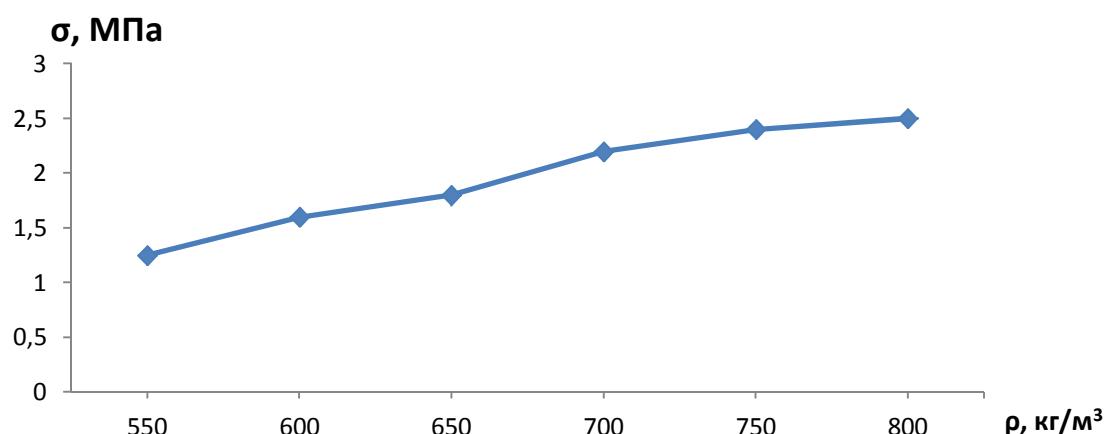


Рис. 3. Зависимость прочности аглопорита от его плотности с добавкой древесных опилок

Обработкой экспериментальных данных методом наименьших квадратов получена математическая модель, характеризующая зависимость прочности аглопорита от его плотности:

$$\sigma = 3,79 \cdot \ln(\rho) - 22,58 \quad (R^2=0,99). \quad (2)$$

Результаты исследований показали возможность использования МВТ и ВТЭР в технологии получения аглопорита (рис. 4) вместо импортных материалов на основе каменного, бурого угля и антрацита, что дает экономический эффект за счет замены импортных дорогостоящих горючих ископаемых.

Полученные на Минском заводе строительных материалов аглопоритовый щебень и песок с применением фрезерного торфа и древесных опилок [5] по показателям прочности и плотности соответствовали требованиям стандарта, согласно которому по показателям насыпной плотности аглопоритовый щебень и песок относят: фракция 20–40 и 10–20 мм – к марке 600; фракция 5–10 мм – к марке 700; фракция менее 5 мм – к маркам 1000–1100. По

показателям прочности аглопоритовый щебень относится: фракция 20–40 мм и 10–20 мм – к марке 75; фракция 5–10 мм – к марке 200–250. Полученные нами аглопоритовый щебень и песок практически по всем качественным показателям близки показателям продукции с использованием обычной шихты. Представляет также практический интерес использование в технологии увеличение крупности частиц (фракционного состава) торфа до 10 мм с целью повышения его массы, что вызовет повышение температуры в спекаемом слое, изменение режимов полуоксования торфа и параметров агломерационного процесса, в частности выхода недожога. Большое значение имеет также изучение качественных показателей аглопорита, спекаемого с различными видами технологического топлива, в которых различное содержание летучих веществ, что может увеличить выход недожога и повлиять на экологическую обстановку территории.

Все это позволило получить экономический эффект на МЗСМ более 100 млн бел. руб. при выпуске опытной партии аглопорита.

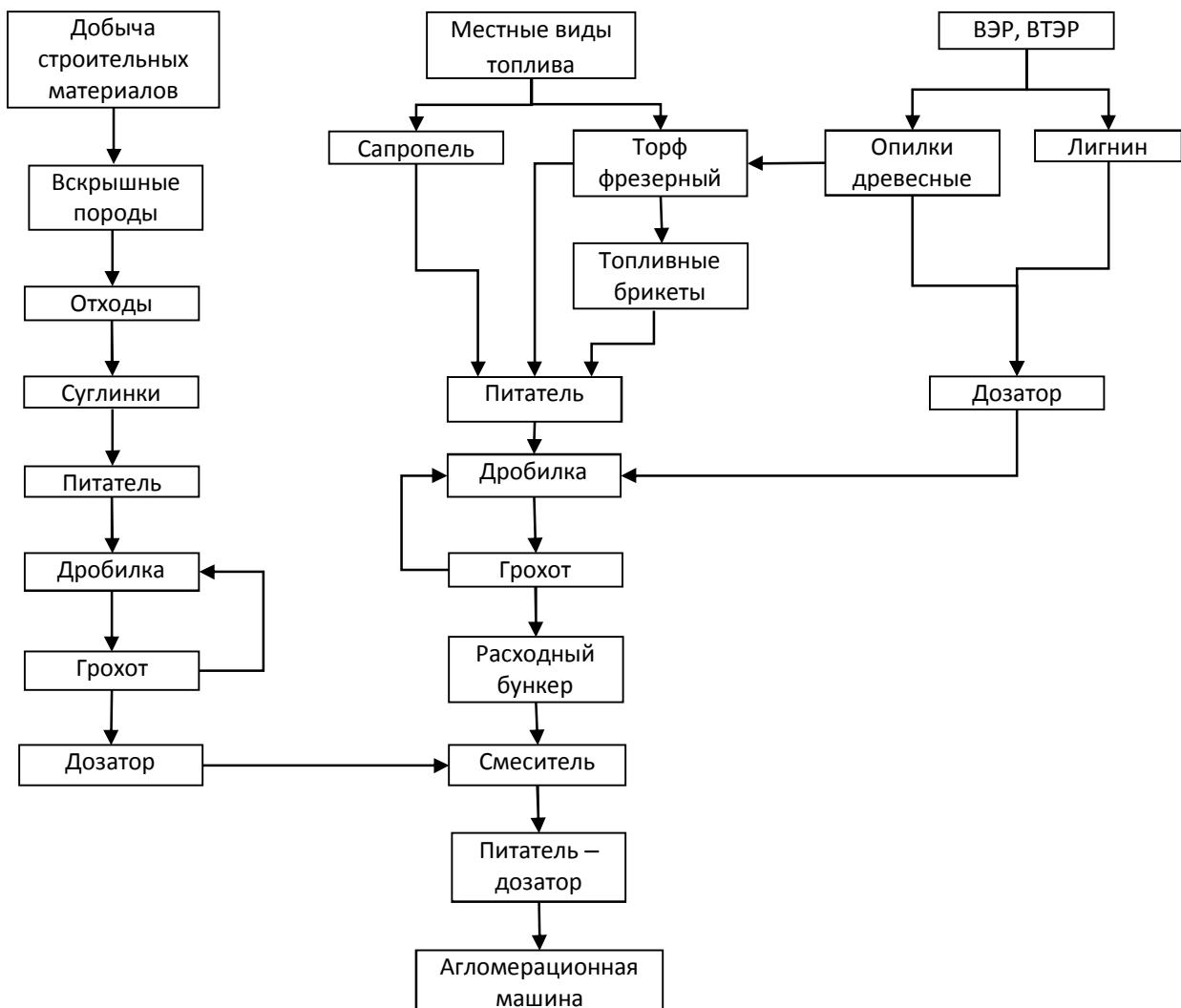


Рис. 4. Технологическая схема получения аглопорита с использованием МВТ и ВТЭР

### Литература

1. **Березовский, Н. И.** Обогащение и комплексное использование минеральных ресурсов / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Б. В. Лесун. – Минск, 2012.
2. **Березовский, Н. И.** Разработка инновационных технологий: монография / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Б. В. Лесун. – Минск, 2013. – С. 84.
3. **Воронова, Н. П.** Комплексное использование местных видов топлива в производстве пористых строительных материалов / Н. П. Воронова, Б. В. Лесун // Изв. ВУЗов и энергетических объединений СНГ. – Минск, 2014 – № 4. – С. 83–94.
4. **Лиштван, И. И.** Коллоидная химия, физико-химическая механика торфа: история развития и современные направления исследования / И. И. Лиштван // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 22. – С. 47–57.
5. **Состав сырьевой смеси аглопорита.** Пат. на изобретение № A20111621 от 30.11.2011.
6. **СТБ 1217-200 «Щебень аглопоритовый».**

Белорусский национальный технический университет

Поступила в редакцию 6.06.2014 г.

**Б. В. Лесун****РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА И ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ**

В статье представлены результаты использования местных видов топлива и вторичных энергоресурсов при получении пористых строительных материалов на основе аглопорита. Проведены эксперименты по определению основных физико-механических свойств аглопорита, при замене дорогостоящих импортных составляющих сырьевой смеси (уголь, антрацит) на фрезерный торф, дробленые топливные брикеты, а также древесные опилки.

Разработаны математические модели по определению коэффициента влагопроводности с различными свойствами торфа, а также влияния различного содержания в смеси суглинков, торфяной крошки и угля на прочность аглопорита. Определены зависимости прочности аглопорита от его плотности при добавлении дробленых брикетов и опилок.

**B. V. Lesun****THE DEVELOPMENT OF THE RAW MIX AGGLOMERATION PROCESS  
WITH THE USAGE OF MILLED PEAT AND FUEL BRIQUETTES**

*The article presents the results of the use of local fuels and waste energy in obtaining porous building materials based on agloporite. Conducted experiments to determine the basic physical and mechanical properties agloporite, replacing expensive imported raw mix components (coal, anthracite) for milled peat, crushed briquettes and sawdust have been held.*

*Mathematical models to determine the coefficient of hydraulic conductivity of peat with different properties, and the impact of different content in a mixture of loam, peat and coal crumbs strength agloporite were developed. The dependence of the strength of its agloporite density adding crushed briquettes and sawdust have been determined.*

**А. Г. Бровка, И. В. Дедюля**

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЭТАЛОННЫХ ОБРАЗЦОВ ГРУНТОВ**

*Предложены методика и схема установки для определения теплопроводности материалов, пригодных для изготовления эталонов в диапазоне теплопроводности грунтов. Приведены результаты тестовых исследований.*

Проектирование различных объектов строительной и горнодобывающей областей промышленности требует наличия данных о теплофизических и прочностно-деформационных характеристиках грунтов, на которых эти объекты возводятся. В горнодобывающей промышленности вопрос под час особо актуален в связи с необходимостью бурения или проходки шахтных стволов в неустойчивых сыпучих грунтах. В таких ситуациях применяются технологии с использованием искусственного замораживания грунтов. Для предварительных расчетов, которые в таких случаях обязательны, необходимы значения их теплопроводности. Теплопроводность грунтов зависит от их вида, состава, температуры и влагосодержания. На реальных объектах влагосодержание грунтов может изменяться от гигроскопического состояния до полного влагонасыщения [2].

Большинство твердых материалов имеет теплопроводность в диапазоне менее 1 Вт/(м·К). Теплопроводность практически всех металлов, которые к тому же являются хорошими проводниками электрического тока, и углерода составляет от нескольких десятков до нескольких сотен Вт/(м·К) [3]. Теплопроводность грунтов в зависимости от влагосодержания, фазового состава и температуры имеет диапазон 1÷6 Вт/(м·К).

В настоящее время существует ряд лабораторных установок для определения теплопроводности грунтов, точность которых удовлетворяет промышленным нуждам. В лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларусь разработана и применяется одна из таких установок [1]. Для периодической поверки установок необходимы эталоны, изготовленные из материалов, теплопроводность которых лежит в диапазоне теплопроводности грунтов. Материал для изготовления эталона должен быть технологичным в обработке, не впитывать влагу, а его теплопроводность не должна зависеть от внешних условий. Чистые материалы для их изготовления не подходят. Чаще всего эталоны изготавливают из композиционных материалов на базе эпоксидных смол с добавками самых разных хорошо проводящих тепло элементов. Однако такие эталоны имеют тенденцию со временем менять свои физические свойства, включая теплопроводность. Срок их службы ограни-

чен, Периодически приходится изготавливать новые эталоны. Для контроля используемых эталонов и измерения теплопроводности новых необходимо соответствующее оборудование.

В данной работе предлагаются конструкция установки и методика для определения теплопроводности самих эталонов и материалов, пригодных для создания эталонов теплопроводности в диапазоне теплопроводности грунтов.

Принцип действия установки основан на использовании метода стационарного теплового режима, а ее особенностью являлось то, что одновременно исследовались два образца. Прототип такой установки описан в [4]. Однако она обладала рядом недостатков: значительной потерей тепла посредством боковых утечек, неравномерностью теплового потока через исследуемый образец, недостаточной точностью регистрации температуры. Предлагаемая нами установка отличается конструкцией нагревателя, способом регистрации разности температуры на противоположных гранях исследуемых образцов, а также наличием двух датчиков теплового потока и системы регистрации и устранения боковых утечек тепла. Предлагаемые новшества позволили значительно увеличить точность измерения теплопроводности.

Исследуемый образец представлял собой диск диаметром 100 мм и высотой 25 мм. В случае необходимости предусмотрена возможность изменения высоты образцов от 15 до 35 мм. На рис. 1 представлена схема рабочей камеры установки. Она разборная и состояла из двух симметричных половин, каждая из которых представляла собой теплообменник 1, заключенный в теплоизоляцию 2. Теплообменники изготовлены из стали, а их рабочие поверхности из алюминия. Через, выфрезированные в теплообменниках, пазы от криостата прокачивался антифриз с заданной температурой. Такая конструкция позволяла с точностью 0,1 град поддерживать на рабочей поверхности любую температуру в диапазоне от комнатной до -15 °C.

На рабочих поверхностях обоих теплообменников с применением теплопроводящей смазки, обеспечивающей хороший контакт, уложены датчики теплового потока. Каждый датчик представлял собой термобатарею из медно-константановых термопар, которая содержала

48 последовательно соединенных спаев. Спай распределены равномерно по площади квадрата со стороной 30 мм и попеременно: один на одной стороне, а второй на противоположной стороне стеклотекстолитового диска 3, являющегося основой датчика. Центр квадрата совпадал с центром диска. Диаметр диска равен внутреннему диаметру теплообменника, толщина составляла 2 мм, что позволило поместить спай на глубину 0,25 мм от его поверхности. На дисках были закреплены и разъемы 4, с помощью которых информация с датчиков подавалась на измерительную аппаратуру.

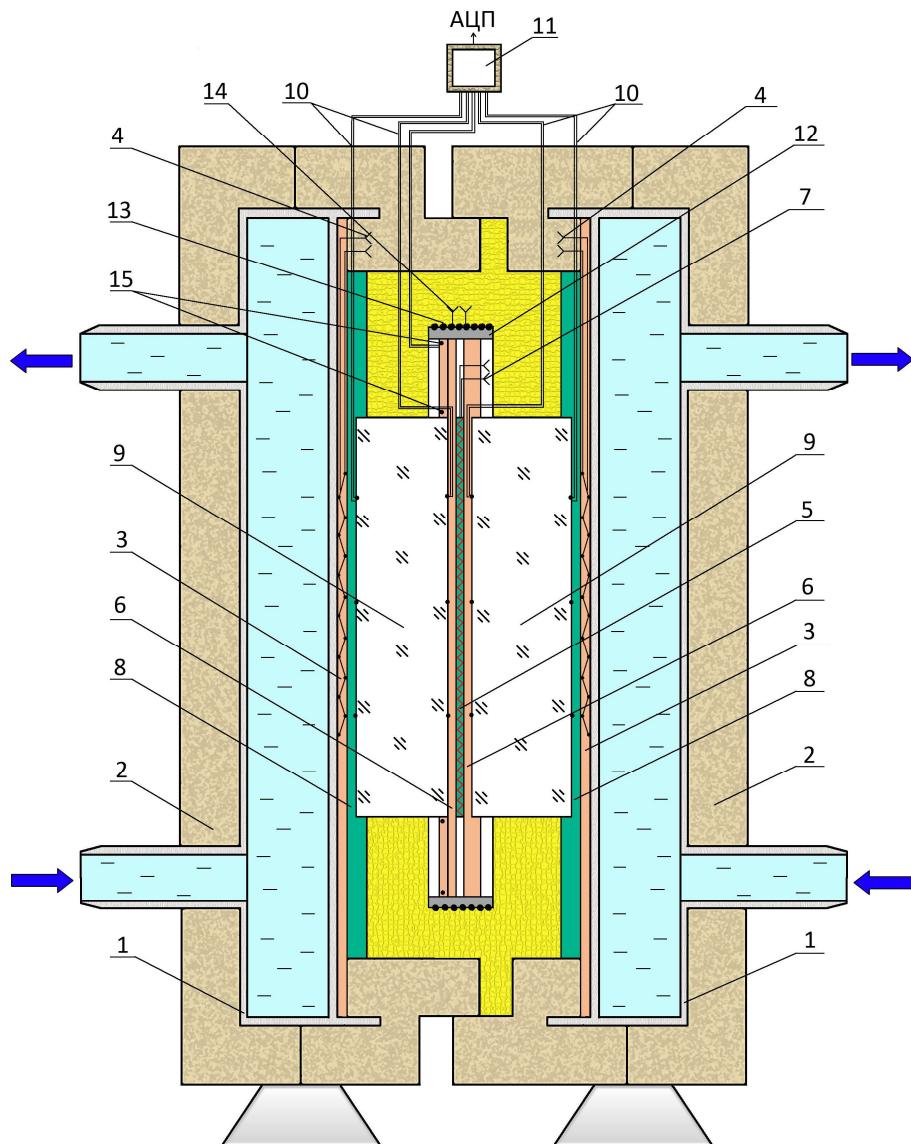
Точность измерения теплопроводности исследуемых образцов в значительной степени зависит от однородности теплового потока, который проходит через них. В данной установке тепловой поток создавался нагревателем 5, изготовленным из константановой проволоки, намотанной на комбинированную основу диаметром 100 мм и толщиной 2 мм с плотностью намотки 1 виток на 1 мм параллельно одному из диаметров. Основа представляла собой диск, внутренняя часть которого диаметром 70 мм изготовлена из стекла и вклеена в стеклотекстолитовое кольцо с внешним диаметром 100 мм. Теплопроводность стеклотекстолитов, согласно справочным данным, лежит в диапазоне 0,3–0,4 Вт/(м·К), теплопроводность стекла как минимум в 2 раза выше. Такая конструкция основы позволила более равномерно распределить тепловой поток по сечению и избежать технологических трудностей при намотке нагревателя. Нагреватель вклеивался между двумя дисками 6, изготовленными из того же стеклотекстолита, что и часть его основы. Диаметр дисков 140 мм, что больше диаметра нагревателя, и это позволило на одном из них закрепить разъем для подвода напряжения 7. Необходимая для расчета теплового потока разность температур на противоположных гранях исследуемых образцов измерялась с помощью батарей медь-константановых термопар, которые содержали по шесть спаев. По три из этих спаев размещались на обратных сторонах дисков нагревателя, а еще по три спая симметрично им на дисках 8, изготовленных из того же текстолита. Последние размещались непосредственно на датчиках теплового потока. Исследуемые образцы 9 размещались между этими дисками. На дисках предусмотрены монтажные кольца, которые фиксировали образец. Чувствительность такой батареи в 3 раза превышала чувствительность дифференциальной медь-константановой термопары и составляла 109,5 мкВ/К.

Практика эксплуатации установок, изготовленных ранее по подобной схеме, показала, что основным их недостатком являлась недолговечность из-за разрыва проводов сравнительных

термопар. Нами предложена конструкция разъемной батареи термопар. За пределы установки одним жгутом 10, заключенным в плотную и прочную изоляцию, выводятся три пары проводов одной половины батареи, которые подпаиваются к штепсельному разъему. От второй половины батареи точно таким же образом выводится второй жгут 10, провода которого подпаиваются ко второй половине разъема. С помощью разъема медные и константановые провода одной половины батареи соединяются соответственно с медными и константановыми проводами другой. Таких разъемов два, и они помещаются в теплоизолирующую камеру 11, которая обеспечивает изотермичность всех соединений, что, согласно второму закону А. Вольты, не влияет на величину генерируемой термобатареей электродвижущей силы (ЭДС).

Нагреватель вместе со стеклотекстолитовыми дисками вклеивался в стальное кольцо 12, внутренний диаметр которого 140 мм, высота 15 мм, а толщина стенок 1,5 мм. Внешняя поверхность кольца покрыта электроизоляционным слоем эпоксидной смолы, поверх которого намотан нагреватель 13 из того же константана, что и основной. Включение нагревателя позволяет при проведении экспериментов избежать боковых утечек тепла. Там же на внешней поверхности кольца закреплен и разъем для подключения нагревателя 14. Для контроля боковых утечек тепла предусмотрена батарея медь-константановых термопар из 12 последовательно соединенных спаев 15, размещенных на стеклотекстолитовом кольце. Шесть спаев размещены вблизи внутреннего радиуса кольца, а шесть – вблизи внешнего. Внутренний радиус кольца равен радиусу образца, а внешний – внутреннему радиусу стального кольца. Сигнал от термопары поступает непосредственно на один из разъемов, находящихся в теплоизолирующей камере. Чувствительность батареи 216 мкВ/К.

Подготовка установки для проведения эксперимента осуществлялась по следующей схеме. Один из теплообменников горизонтально, рабочей поверхностью вверх укладывался на специальную подставку. Далее на этой поверхности сооружался своего рода «сэндвич»: датчик теплового потока 3 → стеклотекстолитовый диск 8 спаями термопары вверх → исследуемый эталон 9 → нагреватель 5 → второй эталон 9 → второй стеклотекстолитовый диск 8 спаями термопары вниз → датчик теплового потока 3 → теплообменник. Для обеспечения хорошего теплового контакта всех деталей их поверхности предварительно смазывались техническим вазелином. Симметричные половины установки соединялись между собой пружинами. После сборки рабочая камера устанавливалась на специальные подставки вертикально.



**Рис. 1. Схема установки:** 1 – теплообменники; 2 – теплоизоляция; 3 – диски с датчиками теплового потока; 4 – разъемы для подключения датчиков теплового потока; 5 – нагреватель; 6 – стеклотекстолитовые диски со спаями сравнительных термопар, между которыми расположен нагреватель; 7 – разъем для подвода напряжения к нагревателю; 8 – стеклотекстолитовые диски со спаями сравнительных термопар; 9 – исследуемые образцы; 10 – жгуты с проводами сравнительных термопар; 11 – теплоизолирующая камера; 12 – стальное кольцо; 13 – нагреватель для компенсации боковых утечек тепла; 14 – разъем нагревателя для компенсации боковых утечек тепла; 15 – батарея термопар для контроля боковых утечек тепла

Для проверки работоспособности установки все эксперименты начинались при отключенном нагревателе. С помощью криостата устанавливалась заданная температура, одинаковая на поверхности обоих теплообменников. После выхода на стационарный режим тепловой поток через исследуемые образцы должен отсутствовать, что и наблюдалось во всех проведенных опытах. Система регистрации температуры, которая включает АЦП и компьютер, в состоянии зафиксировать сигнал в 1 мкВ. Удельная ЭДС батареи меди-константановых термопар, которая измеря-

ла разность температур на противоположных гранях исследованных эталонов, составляла 109,5 мкВ/К, из чего следует, что разность температур на гранях не превышала 0,01 К.

Затем на установке при трех режимах работы нагревателя ( $U = 14 \text{ В}$ ,  $U = 20,93 \text{ В}$ ,  $U = 30 \text{ В}$ ) определялась теплопроводность эталонов. В качестве эталонов использованы диски из оптического стекла ПИ-100 с указанными выше размерами. На рис. 2 представлены зависимости замеренных разностей температур на противоположных гранях эталонов от квадрата напряже-

ния, подаваемого на нагреватель, после выхода системы на стационарный режим при температуре на поверхности теплообменника 283 К. Разности температур на обоих эталонах совпадают. Замеренные параллельно боковые утечки тепла пренебрежимо малы.

Коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлен эталон, рассчитывался из уравнения теплопроводности

$$P = 2\lambda S \frac{\Delta T}{h},$$

где  $P = \frac{U^2}{R}$  – мощность, выделяемая нагревателем;  $U$  – напряжение, подаваемое на нагреватель;  $R$  – сопротивление нагревателя, равное 253 Ом;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $S$  – площадь основания эталона, равная  $7,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;

$h$  – высота эталона;  $\Delta T = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$  – разность темпера-

ратур на гранях исследуемого образца;  $\varepsilon$  – измеренная ЭДС батареи термопар;  $\varepsilon_0$  – удельная ЭДС батареи, равная 109,5 мкВ. Множитель 2 в формуле означает, что выделяемая нагревателем мощность распределяется симметрично по двум направлениям. Рассчитанное значение коэффициента теплопроводности при температуре  $+10^\circ\text{C}$  – 0,93 Вт/(м·К) (соответствует рис. 2), а при температуре  $-5^\circ\text{C}$  – 0,91 Вт/(м·К). Разность полученных значений коэффициента теплопроводности полностью соответствует температурной зависимости  $\lambda = \lambda(T)$

для стекла [5]. Точность определения теплопроводности эталонов составила 3 %.

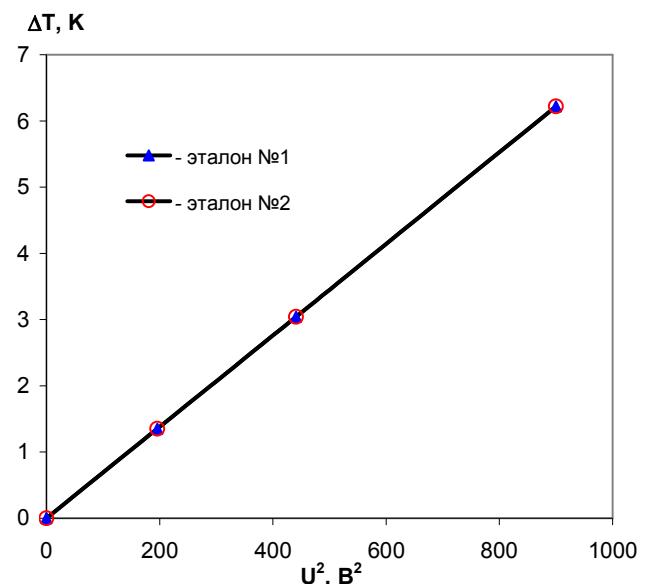


Рис. 2. Зависимость разности температур на гранях эталонов от квадрата подаваемого на нагреватель напряжения

Таким образом, проведенные опыты показывают, что на предложенной экспериментальной установке можно исследовать с достаточной точностью теплопроводность материалов, пригодных для изготовления эталонов в диапазоне теплопроводности грунтов.

## Литература

- Бровка, А. Г. Приборы и методы исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательных температурах / А. Г. Бровка, И. И. Романенко // Горная механика. – № 1. – 2009. – С. 71-79.
- Грунтоведение / В. Т. Трофимов [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова. – М., 2005.
- Енохович, А. С. Справочник по физике / А. С. Енохович. – М., 1990.
- Лабораторные методы исследования горных пород / Под ред. Э. Д. Ершова. – М., 1985..
- Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справ. / Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М., 1982.

А. Г. Бровка, И. В. Дедюля

**УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ЭТАЛОННЫХ ОБРАЗЦОВ ГРУНТОВ**

Представлена методика и схема установки для измерения теплопроводности материалов, пригодных для создания эталонов теплопроводности в диапазоне теплопроводности грунтов. Методика основана на применении метода стационарного теплового режима для плоского образца. Предложена конструкция нагревателя с комбинированной основой, позволяющей увеличить степень однородности теплового потока по сечению исследуемого образца. Термобатарея для измерения градиента температуры в исследуемом образце выполнена разборной, что позволило значительно повысить механическую прочность установки и продлить срок ее эксплуатации. Приведены результаты измерения тестовых материалов.

A. G. Brovka, I. V. Dedylyja

**DEVICE FOR DETERMINING THE HEAT CONDUCTION  
REFERENCE OF SOILS SAMPLES**

The technique and measurement setup of thermal conductivity of materials which is suitable for the creation of thermal conductivity standards in the range of soils thermal conductivity is shown. The technique is based on the usage of steady-state thermal regime method for a flat sample. The construction of the heater with a combined basis, which allows increasing the degree of homogeneity of the heat flux over the cross section of the testing sample, is proposed. The thermopile for temperature gradient measurement in testing sample is made collapsible, thus significantly improves he mechanical strength of the device and to extend its service life. The results of test materials measurements are given.

**И. И. Лиштван, А. В. Высоченко, В. Э. Пахомчик, И. Л. Якимович**

## О ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ «ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»

*Государственная научно-техническая программа «Разработка и освоение инновационных технологий рационального использования природных ресурсов и повышения качества окружающей среды (ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда»), 2011–2015 годы», утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 февраля 2011 г. № 116, ориентирована на разработку технологий и научно-технической документации, обеспечивающих комплексное использование природных и вторичных материальных ресурсов и снижение уровней техногенного загрязнения окружающей среды. Программа включает в себя две подпрограммы с разными государственными заказчиками – Национальной академией наук Беларуси и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. В выполнении работ по программе принимают участие ученые и специалисты Национальной академии наук Беларуси, а также организаций, подчиненных Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Министерству образования Республики Беларусь.*

Формирование программы и пополнение ее новыми заданиями осуществлялось с учетом со-ответствия следующим требованиям:

важность и актуальность проблемы;

наличие организации–потребителя научно-технической продукции;

обеспечение софинансирования работ из внебюджетных источников;

экономическая и/или социально-экологическая эффективность работы.

В таблице представлена информация об основных показателях подпрограммы 01 «Природные ресурсы и их комплексное использование», государственным заказчиком которой является Национальная академия наук Беларуси.

### Основные сведения о ходе выполнения работ по подпрограмме «Природные ресурсы и их комплексное использование»

Год	Объем финансирования, млн руб.		Количество заданий		Количество организаций-исполнителей
	из республиканского бюджета	из внебюджетных источников	всего	в том числе завершенных	
2011	1600,0	858,1	18	–	6
2012	2860,0	659,3	18	7	6
2013	5094,8	2261,3	22	10	7
2014	4589,2	2700,6	20	1	8
2015 (прогноз)	7800,0	3900,0	19	19	8

К настоящему времени завершено выполнение 17 заданий подпрограммы, научно-техническая продукция по которым находится в стадии освоения.

Ранее нами приводилась информация по характеристике работ и проблематике заданий, выполнение которых осуществлялось в 2011–2012 гг. [1]. В связи с этим остановимся на наиболее значимой продукции, которая будет получена при выполнении заданий, включенных в программу позднее (в 2013 и 2014 гг.).

В целях разработки инновационных технологий биосферно-совместимого использования и переработки торфяных ресурсов учеными Института природопользования НАН Беларуси (руководитель работ – Г. В. Наумова) выполняется задание по созданию и освоению технологии опытно-

промышленного производства консерванта–обогатителя силосованных кормов на основе торфа. В лабораторных условиях проведена оптимизация процесса химической деструкции торфа для получения основы консерванта зеленых кормов – оксидата торфа. Установлены оптимальные параметры процесса: температура и продолжительность окисления. Разработаны дозы введения обогащающих минеральных добавок, в качестве которых использованы соли селена и йода, а также карбамид, который позволяет получить силос с повышенным содержанием общего азота и белка, а также одновременно усиливает консервирующее действие препарата. Наработан и передан в опытно-экспериментальную научно-производственную лабораторию кормовых добавок и биопродуктов РУП «НПЦ НАН Беларуси по

животноводству» лабораторный образец консерванта-обогатителя (5 кг). Специалистами лаборатории проведена закладка на хранение в лабораторных сосудах травянистых кормов с использованием консерванта-обогатителя из расчета 4 и 5 кг на 1 т силосуемого сырья. Опыт по силосованию зеленых трав в лабораторных сосудах продолжится 6 месяцев, после чего будет проведена оценка эффективности нового консерванта при хранении зеленых кормов.

На снижение вредных выбросов и разработку способов утилизации отходов производства направлены следующие разработки.

1. Мероприятия по сокращению поступления летучих органических соединений (ЛОС) в атмосферный воздух в деревообрабатывающем производстве для минимизации воздействия на окружающую среду, разработка которых ведется в Институте природопользования НАН Беларуси (руководитель работ – С. В. Какарека). Актуальность проблемы обусловлена тем, что деревообрабатывающее производство среди источников выбросов ЛОС занимает особое место, так как здесь летучие органические соединения образуются в значительных объемах вследствие широкого использования смол и лакокрасочных материалов. В настоящее время выбросы от предприятий деревообрабатывающего производства, например, формальдегида, являющегося одним из наиболее токсичных компонентов ЛОС, составляют около 40 % общего объема его выбросов. Следует отметить, что поступление формальдегида в воздух помещений в процессе эксплуатации готовых изделий из дерева, полученных с применением смол и лакокрасочных материалов, представляет угрозу здоровью людей.

В связи с тем что применяемые в настоящее время принципы и методы регулирования воздействий на атмосферный воздух и снижения выбросов ЛОС не дают необходимого эффекта, исполнителями предложено для оценки экологической эффективности природоохранных мероприятий или технической модернизации в отношении источников ЛОС при сравнении различных сценариев применять метод интегрального моделирования и сопоставительной оценки выгод и затрат. Рекомендации предназначены для выбора оптимальных стратегий снижения выбросов ЛОС при разработке планов развития отрасли, планов природоохранных мероприятий на предприятиях отрасли, при оценках воздействия в трансграничном контексте, стратегической экологической оценке.

2. Способы комплексного использования золы твердых топлив в производстве строительных материалов, дорожных грунтов, асфальтобетонных смесей, мелиорантов и структурообразователей грунтов, разработка которых ведется в Институте природопользования НАН Беларуси

(руководитель работ – И. И. Лиштван). Проведенный анализ состава и свойств золы различных твердых топлив показал, что отдельные их категории могут быть использованы в качестве сырья для получения материалов широкого спектра применения, в частности в производстве строительных материалов и дорожных покрытий. Вовлечение зольных отходов в промышленное производство в качестве вторичного технологического сырья имеет немаловажный экологический аспект для решения проблемы их накопления и связанного с ним загрязнения прилегающих к местам хранения территорий. В ходе выполнения работ установлены направления практического использования золы твердых топлив Беларуси, а именно: в производстве строительных материалов, асфальтобетонных покрытий, в качестве компонента сырьевой смеси и активной минеральной добавки при производстве цемента, смесей дорожных технических вяжущих, мелиорантов грунтов органо-минеральных.

Проведенные исследования показали, что высоко- и среднекальциевые золы и шлаки целесообразно использовать в качестве сырья для производства вяжущих веществ, а низкокальциевые и сверхкислые золы и шлаки – в качестве заполнителей в бетонах или в виде сырья для получения искусственных шлакозольных наполнителей – аглопорита, зольного гравия и т. п. Кроме того, так как зола от сжигания органических материалов аккумулирует в себе элементы минерального питания растений, то возможна разработка на ее основе препаратов, предназначенных для использования в качестве удобрений и мелиорантов грунтов. Организацией–изготовителем разработанной продукции является ОАО «Житковичский торфобрикетный завод», где для этих целей осуществлена модернизация технологической линии.

3. Технология производства и использования органических удобрений на основе отходов крахмальных производств, разрабатываемая специалистами Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси (руководитель работ – А. В. Сорока). В Беларуси работают 16 крахмальных заводов, основными отходами которых являются мезга, картофельный сок и сточные воды. При производстве крахмала из 1 т картофеля получается около 400 кг мезги. Частично она используется в животноводстве в качестве добавки к корму скота, а нереализуемые остатки вывозятся на поля. В то же время наиболее перспективно и эффективно использование картофельной мезги в качестве компонентов компостов с внесением гидроксида кальция для обеспечения кислотности на уровне  $\text{pH} = 7\text{--}8$ . В результате компостиования получается сбалансированное органическое удобрение, по своим удобренительным свойствам не уступающее навозу. Помимо прямого исполь-

зования такой компост может применяться для приготовления почвогрунтов для выращивания рассады и цветов в защищенном грунте, а также при создании газонов. Разработаны девять вариантов экспериментальных почвогрунтов, включаяющих ЭМ-компосты–песок (в разных соотношениях), вермикомпост–песок, вермикомпост–мезга–песок, торф–мезга–песок, вермикомпост–мезга–торф–песок и мезга–торф. Санитарно-паразитологические и санитарно-бактериологические исследования разработанных экспериментальных почвогрунтов дали хорошие результаты. Все грунты имеют благоприятные водно-физические свойства и по содержанию питательных элементов не уступают грунтам, поставляемым в настоящее время в торговую сеть.

Полевые опыты показали, что внесение картофельной мезги способствует снижению плотности сложения почвы, повышению плодородия, увеличению содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия.

Проведена оценка роста, развития и урожайности пайзы, люцерны, смеси фестулиума с клевером луговым, кукурузы и картофеля на древесно-подзолистой связносупесчаной почве с произведенным ранее внесением мезги. Урожайность сельскохозяйственных культур составила: кукурузы – 54 ц.к. ед/га, люцерны 1-го года жизни – 16,7, пайзы – 40,9, смеси фестулиума с клевером луговым 1-го года – 16,3 ц.к. ед/га.

4. Технология совместной химической переработки отходов солодовенного и сахарного производств с получением пектинсодержащей биологически активной кормовой добавки, разрабатываемая в Институте природопользования НАН Беларусь (руководитель работ – А. Э. Томсон). Ежегодно на сахарных заводах республики образуется около 200 тыс. т сухого жома, на 50 % представленного пектинами и содержащего до 7–8 % протеина. Показано, что отходы солодовенных и сахарных производств содержат в значительных количествах биологически активные соединения, в частности меланоидины, аминокислоты, биогенные амины, протеины, органические кислоты, оказывающие положительное влияние на обменные процессы в организме животных и их продуктивность. На опытно-промышленной установке наработан экспериментальный образец новой кормовой добавки (200 кг), который передан для испытаний РУП «НПЦ НАН Беларусь по животноводству». В РДУП «ЖодиноАгроПлемЭлита» начат научно-хозяйственный опыт на четырех группах высокопродуктивных коров. Новая кормовая добавка вводится в рацион животных в составе комбикормов в дозах 0,5; 1,0 и 1,5 %.

5. Способы комплексного извлечения и разделения компонентов макро- и микросостава, а также нейтрализации токсичных компонентов отходов сжигания твердых топлив, разрабатывае-

мые учеными Института природопользования НАН Беларусь (руководитель работ – Г. П. Бровка). При освоении и использовании минерально-сырьевых ресурсов (торфа, бурого угля, горючих сланцев) образуется большое количество отходов, содержащих в макроколичествах породообразующие вещества (кремний, алюминий, железо, кальций) и в микроколичествах редкие металлы (бериллий, титан, цирконий, галлий, германий, редкоземельные и радиоактивные металлы). Складирование этих отходов производится на специальных полигонах, что требует отвода больших площадей и создает угрозу загрязнения окружающей среды. В то же время их можно использовать в качестве вторичных минерально-сырьевых ресурсов для извлечения из них соединений металлов, представляющих промышленную ценность.

Проведена инвентаризация отходов сжигания твердых топлив. Суммарный объем образования зол в 2013 г. составил 56 926,45 т. На объекты захоронения отправлено 32 260,63 т, на хранение – 15 920,52 т, использовано, передано, реализовано 9654,41 т, наличие отходов на конец 2013 г. – 100 494,18 т. Данные представлены с учетом переходящих остатков прошлых лет. Образование зол в областях республики происходит неравномерно: наибольшее количество зольных отходов приходится на Минскую область (26 % от общего объема). При этом 27 % от общего объема приходится на золу от сжигания быстрорастущей древесины, 26 % – от сжигания торфобрикетов, 18 % – торфа с древесиной, 13 % – на золу и шлак топочных установок, 9 % – на золу от сжигания лигнина, 7 % – на золу от сжигания остальных видов отходов.

6. Рекомендации и нормативный документ по обеспечению защиты объектов окружающей среды при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов, разработка которых начата в Полоцком государственном университете (руководитель работ – В. К. Липский). В связи с наличием на территории Республики Беларусь значительного количества объектов, связанных с добычей, транспортировкой, переработкой, хранением и распределением нефти и нефтепродуктов, существует вероятность возникновения аварийных ситуаций при их разливах. Это определяет актуальность разработки типовых методов ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и комплекса организационно-технических мероприятий, а также обеспечения защиты объектов окружающей среды при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов. Проведена инвентаризация антропогенных источников загрязнения объектов окружающей среды нефтью и нефтепродуктами, которая позволила выявить нефтесодержащие технические объекты и оценить уровни потенциальной экологической опасности, которая связана с ава-

риями, сопровождаемыми разгерметизацией оборудования и разливами нефти и нефтепродуктов. Выполнена классификация, позволившая из всей совокупности природных объектов выделить те, загрязнение которых может сопровождаться наиболее тяжелыми экологическими последствиями. С целью определения эффективных мер по локализации, ликвидации и минимизации экологических последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов разработаны схематизированные сценарии.

7. Новые виды гранулированных органо-минеральных биоудобрений на основе отходов биогазовых установок, внедрение которых начато специалистами Полесского аграрно-экологического института (руководитель работ – В. А. Сатишур). Одним из эффективных и доступных приемов поддержания почвенного плодородия и пополнения запасов органического вещества в почве является широкое применение органо-минеральных удобрений на основе неиспользуемых отходов производств. Данна общая характеристика существующих медленнодействующих удобрений. Изучена возможность использования биополимеров для создания гранулированного биоудобрения пролонгированного действия. На основе нормативного выноса питательных веществ с основной и побочной продукцией сельскохозяйственных культур разработаны экспериментальные составы гранулированных биоудобрений. Изготовлена опытная партия биоудобрений (5 т) для овощных культур (капусты белокочанной, огурцов открытого грунта) с нанесенным полимером природного происхождения, проведены агрохимические анализы. В 1 т биоудобрений естественной влажности содержится 49,6 кг азота, 48,0 кг фосфора, 88,1 кг калия, 40,0 кг кальция, 3,4 кг магния, 69,0 кг серы, 350,0 кг органического вещества, 92,7 г марганца, 46,3 г бора, 123,2 г цинка, 55,9 г меди. В РУП «Институт овощеводства» заложены опыты первого года по оценке хозяйствственно-биологической эффективности применения гранулированных органо-минеральных удобрений при возделывании овощных культур (капусты белокочанной, огурцов).

На обеспечение эффективного использования и воспроизводства биоресурсов направлены следующие разработки.

1. Технология ведения рыбохозяйственной деятельности на озерах для воспроизведения и пополнения запасов ценных промысловых и охраняемых видов рыб (на примере НП «Нарочанский») (Институт рыбного хозяйства НАН Беларусь, руководитель работ – В. Г. Костоусов). Проведенные гидроэкологические наблюдения показали, что оз. Большие Швакшты является эвтрофным водоемом, а в отдельные периоды – высоково-эвтрофным. Состав ихтиофауны этой озерной группы представлен комплексом аборигенных и

вселенных видов рыб, а динамика их численности определяется интенсивностью рыбохозяйственных мероприятий. Разрабатываемая технология обеспечит заселение озера такими ценными видами рыб как линь, щука и угорь, а также снизит долю растительноядных рыб и карпа, способствующих эвтрофированию, что, в свою очередь, обеспечит улучшение качества воды и увеличение рекреационной привлекательности.

2. Типовой регламент и эффективные способы лова раков (ГНПО «НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам», руководитель работ – А. В. Александрович). Водоемы и водотоки Беларусь благоприятны для длиннопалого рака, который в состоянии существовать в широком диапазоне характеристик среды обитания. В качестве экспериментальных ракопродуктивных водоемов исполнителями предложены озера Бельское, Освейское, Гиньково, Рожево, Кромань, Олтуш, Соминское, Лутовское и водохранилище Светлогорское. В полевых условиях проведены исследования массы, длины, роста, питания, возрастной структуры и динамики численности длиннопалого рака.

3. Промышленный способ производства змеиного яда для химико-фармацевтической промышленности (ГНПО «НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам», руководитель работ – С. М. Дробенков). Ежегодные потребности республики в змеином яде как составляющей лекарственных препаратов оценены в 150–200 г. Биологические ресурсы природной популяции обыкновенной гадюки, распространенной на территории Беларусь, составляют 500–550 тыс. экземпляров. Такая численность позволяет без ущерба добывать 10–15 тыс. змей, что полностью удовлетворяет потребности отечественной химико-фармацевтической промышленности в необходимом сырье, а также создает возможности для экспорта части продукции за границу. Наиболее благоприятными регионами для размещения серпентариев являются районы с высокой численностью гадюки: Ивацевичский Брестской области, Житковичский Гомельской области, Новогрудский Гродненской области, Вилейский Минской области, Осиповичский Могилевской области и Городокский Витебской области. Подготовлена карта-схема размещения биологических запасов обыкновенной гадюки.

В целях внедрения информационных технологий и улучшения архитектуры ландшафтов ведутся следующие работы.

1. Разработка предложений по повышению эффективности учета озелененных территорий для целей территориального планирования и управления природопользованием и составление Правил проведения озеленения населенных пунктов с учетом специфики природных условий и техногенных нагрузок (Институт природопользования НАН Беларусь, руководитель работ –

Л. А. Кравчук). Исследованы структура и уровень организации озелененных ландшафтно-рекреационных территорий в городах Гродно, Витебск и Могилев, подготовлены электронные картографические основы по структуре озелененных территорий общего пользования в этих городах, проведены расчеты показателей обеспеченности зелеными насаждениями. На основе анализа структуры озелененных ландшафтно-рекреационных территорий в городах, результатов расчетов показателей обеспеченности с построением соответствующих картосхем выявлены участки дефицита, разработан комплекс мероприятий для их устранения.

2. Разработка комплекса мер по минимизации воздействия строительства и эксплуатации автомобильных дорог на растительность придорожных территорий (ГНПО «НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам», руководитель работ – А. В. Судник). Проблема воздействия автомагистралей на придорожные экосистемы приобретает все большую актуальность в связи с бурным ростом парка автотранспорта в республике, развитием транспортной инфраструктуры и изменением технологий содержания автомобильных дорог. Воздействие автомагистралей на прилегающие природно-растительные комплексы имеет многофакторный негативный характер, что обусловлено поступлением широкого перечня токсичных поллютантов с отработавшими газами автомобилей. Проведен анализ нормативных документов, регламентирующих проектирование, создание и уход за защитными насаждениями вдоль автомобильных дорог; дана оценка степени загрязнения растительных комплексов придорожных территорий техногенными металлами и компонентами противогололедных реагентов (ионами натрия и хлора). Установлено, что уровень техногенного загрязнения придорожных территорий определяется интенсивностью движения транспортных средств и условиями содержания в зимний период. Загрязнение растительных фитоценозов с превышением базовых величин по содержанию Pb, Co, Ni, Zn, Cu, ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  прослеживается на расстоянии не менее 300 м от дорожного полотна. Наибольшие аномалии выявлены в зеленых мхах. Аккумуляция веществ–загрязнителей не достигает опасного уровня, но существует угроза их вовлечения в биологический круговорот. Выполнено научно-методическое сопровождение опытно-производственных посадок вдоль автомобильных дорог (M9, Минская кольцевая автомобильная дорога). Произведена оценка текущего (раннелетнего) состояния лесных и защитных древесных насаждений на опушках вдоль автомобильных дорог с разной интенсивностью движения автотранспорта: магистральные – M1/E30 Брест–Минск–граница Российской Федерации, M3 Минск–Витебск, M5/E271 Минск–Гомель,

M6/E28 Минск–Гродно, Минская кольцевая автомобильная дорога (МКАД), республиканские – Р45 Полоцк–Глубокое–граница Литовской Республики, Р20 Витебск–Полоцк–граница Латвийской Республики. Для исследования состояния древостоя в опушечной зоне примыкающих к автомобильным дорогам лесных и защитных древесных насаждений проводилось обследование состояния опушечных деревьев (на глубину 1–2 дерева). В совокупности на всех автодорогах обследовано 18 509 деревьев и 17 древесных пород. Проведен сравнительный анализ состояния растительности на опушках вдоль магистральных и республиканских автомобильных дорог.

В целях экологической оптимизации хозяйственной деятельности осуществляются следующие разработки.

1. Комплекс мероприятий для защиты экосистем озер при проектировании объектов реконструкции мелиоративных систем и разработке торфяных месторождений на сопредельных территориях (Белорусский государственный университет, руководитель работ – Б. П. Власов). Натурные обследования показали, что гидромелиорация водохранилищ и приозерных территорий оказывает существенное влияние на гидрологические, морфометрические и экологические характеристики озер. Установлено уменьшение площади водохранилищ до 40 раз и до полного исчезновения, понижение уровня озер на 0,3–1,5 м, изменение структуры водного баланса, повышение минерализации приточных вод, ухудшение гидроэкологического режима водоемов. В Белорусском Полесье проведены полевые обследования озер и приозерий на торфяных месторождениях, подвергшихся осушительной мелиорации. Определены основные физико-химические и гидрологические параметры озерных водоемов, установлены главные угрозы природным комплексам озер. Подготовлен массив данных по факторам негативного влияния на озерах при работах, связанных с осушительной мелиорацией в Белорусском Полесье. Уменьшение площади водохранилища фиксировано на озерах Олтушское (в 40 раз), Ореховское (в 17 раз), Семиховичское (в 9 раз), Дворищанское (в 1,4 раза), а на озерах Дикое и Луково водохранилища исчезли полностью. Изменение структуры водного баланса вследствие резкого (до 50 %) снижения объема притока с водохранилища при практически постоянных объемах осадков и потерь на испарение привело к резкому снижению (до 10 раз) оттока из озер и увеличению сработки их объема, что вызвало снижение уровня воды. По сравнению с периодом до мелиорации отмечено катастрофическое понижение уровня озер Страдечно (до 0,5 м), Дикое (до 1,5 м), Селяхи (до 0,4 м), Ореховское и Олтушское (до 0,3 м). Проведение широкомасштабной осушительной мелиорации водохранилищ и осушение участков торфо-

разработок на прилегающих территориях оказывают негативное влияние на гидрологию водоемов и приводят к ухудшению гидроэкологического режима водоемов.

2. Схема районирования территории Беларуси по распределению радионовых аномалий в почвенном воздухе и методические рекомендации по использованию радионометрических данных для решения геологических и геоэкологических задач (Институт природопользования НАН Беларуси, руководитель работ – А. В. Матвеев). Изучена объемная активность «местного» (грунтового) радона по профилям на трех ключевых участках и по отдельным образцам в других районах региона. Установлено, что концентрации «местного» (грунтового) радона во флювиогляциальных отложениях варьируют в интервале 3 600–15 300 Бк/м<sup>3</sup> (среднее 7 900 Бк/м<sup>3</sup>, чаще всего 4 300–12 900 Бк/м<sup>3</sup>), в конечно-моренных образованиях – 2 000–20 800 Бк/м<sup>3</sup> (среднее 7800 Бк/м<sup>3</sup>, чаще всего 7 200–13 000 Бк/м<sup>3</sup>). Выявлены особенности распределения «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе моренных отложений на площади Подлесского и Грицевичского ключевых участков и по 22 образцам, отобранным в других районах региона. Установлено, что концентрации «местного» (грунтового) радона в верхнем слое моренных отложений колеблются в интервале 7 800–26 900 Бк/м<sup>3</sup>. Исследованы особенности распределения «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе аллювиальных отложений на площади Слуцкого ключевого участка и по 27 образцам из других районов региона. Концентрации «местного» (грунтового) радона в верхнем слое аллювиальных отложений изменяются в интервале 2 100–13 000 Бк/м<sup>3</sup>. Исследования показали, что относительно радиоопасными могут считаться только площади распространения валунных моренных суглинков и глин в зонах активных разрывных нарушений.

3. Новые перспективные направления использования природных ресурсов и оценка инвестиционной привлекательности Белорусского По-

лесья на основе ретроспективного анализа основных результатов научных исследований (Белорусский государственный университет, руководитель работ – В. С. Аношко). Разработана схема-модель ретроспективного анализа и обобщения результатов научных исследований, включающая следующие основные блоки: общественные потребности в использовании конкретного природного ресурса, свойства природного ресурса (запасы, качество, экологическое состояние), условия размещения природного ресурса (экономические и эколого-географические), использование конкретного природного ресурса (интенсивность, эффективность, проблемы, перспективы), научное обеспечение использования конкретного ресурса (научные взгляды на использование, результативность научных разработок, перспективы исследований). Схема-модель апробирована на примере оценки состояния и использования агроресурсов Полесского региона.

Следует особо подчеркнуть важность и ценность выполненных в прошлые годы научно-исследовательских работ по проблемам Белорусского Полесья. На основании научного анализа полученных ранее данных с учетом экологических и экономических требований сегодняшнего дня будут разработаны рекомендации по организации хозяйственной деятельности на мелиорированных землях Белорусского Полесья.

В целом выполняемый комплекс работ по отдельным видам природных ресурсов представляет большой научно-практический интерес в плане решения ряда основных задач по оценке современного состояния природно-ресурсного потенциала республики, а также в разработке инновационных технологий биосферно-совместимого использования и переработки природных ресурсов. Последующее освоение в реальном секторе экономики нашей страны созданной в рамках программы научно-технической продукции, несомненно, будет иметь высокую социально-экономическую и экологическую эффективность.

## Литература

1. Лиштван, И. И. Государственная научно-техническая программа «Природные ресурсы и окружающая среда»: первые результаты / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 22. – С. 188–194.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 20.10.2014 г.

**В. П. Стригуцкий, Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов**

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ СВЧ-МОЩНОСТИ НА ФОРМУ СПЕКТРОВ ЭПР ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

*Доказано, что специфическая трансформация формы сигналов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) гуминовых кислот (ГК) верховых торфов и их синтетических модельных аналогов (полимеры с развитой системой ароматического сопряжения) при высоких уровнях СВЧ-мощности обусловлена наложением дополнительного дублетного сигнала, обязанного сверхтонкому взаимодействию (СТВ) неспаренного электрона с магнитным ядром изотопа  $^{13}\text{C}$ . Однаковое расстояние между компонентами дублетного сигнала для всех исследованных образцов указывает на близкие размеры фрагментов полисопряжения, включающих атом  $^{13}\text{C}$ . В случае ГК низинных торфов СТВ неспаренного электрона с атомами N маскирует проявление дублетного сигнала.*

Электронный парамагнетизм является общепризнанным фундаментальным свойством гуминовых образований [3, 9, 11, 12]. При этом одной из актуальных и нерешенных проблем является специфическая трансформация формы спектра ЭПР гуминовых кислот (ГК) верховых торфов, а в ряде случаев и самого торфа, наблюдаемая при повышении уровня СВЧ-мощности (рис. 1). Принципиально, что аналогичное явление наблюдалось и для синтетических полимеров с развитой системой ароматического сопряжения (полинафталин, полариленгидрохиноны, полирилендиоксигидрохиноны и т. д.), рассматриваемых в качестве модельных систем [7]. Наиболее распространенным являлось объяснение за счет появления дополнительной более широкой, слабо насыщающейся СВЧ-мощностью линии ( $\Delta H > 1000 \text{ мкТл}$ ), накладывающейся на исходный узкий сигнал ( $\Delta H < 400 \text{ мкТл}$ ) [2, 5, 7, 10].

Однако компьютерный анализ показал неправомерность концепции суперпозиции «узкого» и «широкого» сигналов. В связи с этим в [1] было предложено принять во внимание наличие в органическом веществе парамагнитного изотопа углерода  $^{13}\text{C}$  (1,1 %). В результате СТВ неспаренного электрона с магнитными ядрами  $^{13}\text{C}$  итоговый спектр ЭПР должен являться суперпозицией трех составляющих. Центральная линия обусловлена парамагнитными центрами (ПМЦ), в структуру которых не входят парамагнитные ядра. Две боковые составляющие представляют компоненты дублета СТВ на парамагнитных ядрах  $^{13}\text{C}$ . Вследствие их низкого содержания в торфе и ГК вклад боковых компонент при малых уровнях СВЧ-мощности проявляется только в несущественном усилении интенсивности крыльев сигнала ЭПР. Хорошо разрешимые боковые составляющие появляются лишь при увеличении СВЧ-мощности, так как обусловливающие их ПМЦ обладают меньшими временами релаксации из-за СТВ с ядрами  $^{13}\text{C}$  и поэтому сигналы ЭПР последних слабее насыщаются СВЧ-

мощностью. Заметим, что в ГК низинного торфа наблюдалась аналогичная ситуация СТВ с ядрами N [8].

Исследования, выполненные с полигидрохиноном и флуоресценом [1], показали, что теоретически спектры, смоделированные суперпозицией центральной составляющей, и компонент дублета гораздо лучше согласуются с экспериментальными спектрами, чем смоделированные суперпозицией узкого и широкого сигналов. Однако и в этом случае не наблюдалось появления дублетного сигнала, как такового, вследствие чего предложенная модель оставалась только правдоподобной гипотезой.

Поэтому целью представляемой работы является обоснование природы специфической трансформации формы спектров ЭПР ГК верховых торфов и их синтетических модельных аналогов при высоких уровнях СВЧ-мощности.

В качестве объектов исследования были выбраны препараты ГК, выделенные из ряда образцов верхового торфа с использованием пирофосфата или гидроксида натрия.

Методика регистрации и обработки спектров ЭПР приведена в [8]. Был использован также прием варьирования фазы опорного напряжения синхронного детектора относительно напряжения модуляции  $\Delta\phi$ , позволяющий выделять сигналы от ПМЦ с различающимися временами релаксации [7].

Для препарата ГК пушицево-сфагнового торфа, выделенного пирофосфатом натрия, при низких уровнях СВЧ-мощности фиксировался узкий синглетный сигнал с  $\Delta H = 320 \text{ мкТл}$  (рис. 1, а). Регистрация же при высоких уровнях СВЧ-мощности (50 мВт) и  $\Delta\phi = 0^\circ$  приводила к усложнению формы сигнала, выглядевшему как появление дополнительной более широкой линии протяженностью  $>1000 \text{ мкТл}$  (рис. 1, б).

Для ослабления исходного узкого сигнала была выполнена также регистрация при  $\Delta\phi = 50^\circ$ , что должно, казалось бы, приводить к четкому

проявлению широкой линии. Однако в эксперименте наблюдалось появление дополнительного дублетного спектра с расстоянием между компонентами  $A_{\text{CTC}} = 1020 \text{ мкТл}$  (СТС – сверхтонкая структура) (рис. 1, в), являющегося прямым доказательством СТВ неспаренного электрона с магнитным ядром  $^{13}\text{C}$ . Наличием компонент СТВ можно объяснить также уширение исходного узкого сигнала от 320 до 390 мкТл с повышением уровня мощности в случае регистрации при  $\Delta\phi = 0^\circ$ .

В то же время для препаратов ГК магелланум- и ангустифолиум-торфа, выделенных гидроксидом и пирофосфатом натрия, дублетный

сигнал при высоких уровнях СВЧ-мощности (50 мВт) регистрировался и при совпадении фаз опорного напряжения синхронного детектора и магнитной модуляции ( $\Delta\phi = 0^\circ$ ) – традиционный метод регистрации спектров ЭПР (рис. 2). Представленный результат объясняется существенно более сильным насыщением сигнала ЭПР СВЧ-мощностью, вытекающим из низкого значения параметра  $A/A_0$ , представляющего отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт [8]. В случае упомянутого выше препарата ГК пущицово-сфагнового торфа  $A/A_0 = 2,45$ , а в рассматриваемых препаратах  $A/A_0$  составляет около 0,3.

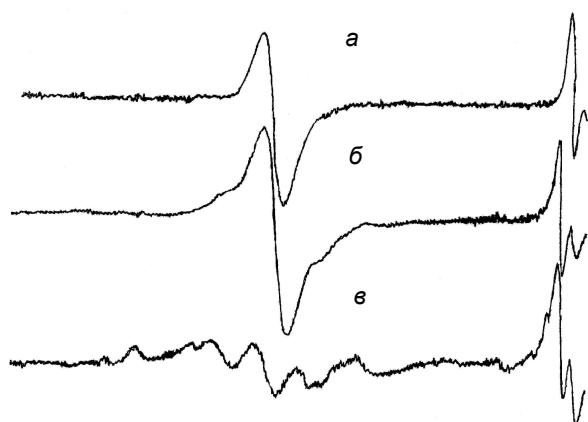


Рис. 1. Спектры ЭПР ГК пущицово-сфагнового торфа: *а* –  $P_{\text{СВЧ}} = 0,1 \text{ мВт}$ ; *б* –  $P_{\text{СВЧ}} = 50 \text{ мВт}$ ; *а*, *б* –  $\Delta\phi = 0^\circ$ ; *в* –  $\Delta\phi = 50^\circ$ . Крайняя линия справа – 4-я компонента СТС эталона  $\text{MgO}$  с микропримесью  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$

Согласно [1], проявление дополнительных линий дублета возможно лишь при делокализации ПМЦ по некоторому «среднему» количеству углеродных атомов. Действительно, при делокализации по малому числу атомов доля ПМЦ, содержащих атом  $^{13}\text{C}$ , будет низка. При делокализации же по большому числу атомов С будет мало локальное поле, создаваемое парамагнитными атомами углерода. В связи с этим одинаковое в пределах экспериментальной ошибки значение  $A_{\text{CTC}}$  для всего исследованного десятка образцов (расстояние между компонентами 1000–1070 мкТл) свидетельствует о близких размерах фрагментов непрерывного сопряжения, содержащих атом магнитного изотопа  $^{13}\text{C}$ .

Выдвинутая концепция подтверждается и характером влияния уровня СВЧ-мощности на спектр ЭПР эталонного образца  $\text{MgO}$  с микропримесью ионов  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$  [6]. При низких уровнях СВЧ-мощности фиксируется слабая интенсивность сигнала ЭПР ионов  $\text{Cr}^{3+}$ . При высоких же уровнях СВЧ-мощности вследствие коротких времен релаксации последних наблюдается существенное повышение ее относительно сигнала

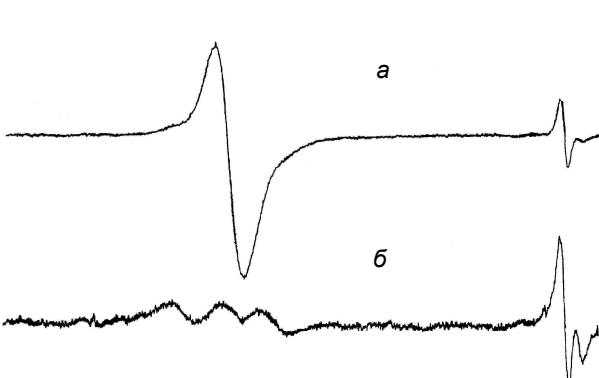


Рис. 2. Спектры ЭПР ГК магелланум-торфа ( $\Delta\phi = 0^\circ$ ): *а* –  $P_{\text{СВЧ}} = 0,1 \text{ мВт}$ ; *б* –  $P_{\text{СВЧ}} = 50 \text{ мВт}$

ионов  $\text{Mn}^{2+}$ , особенно наглядное в случае  $\Delta\phi = 50^\circ$ .

В случае ГК низинных торfov дублетный сигнал маскируется СТВ неспаренного электрона с атомами N [8]. Для них оно при высоких уровнях СВЧ-мощности обуславливает уширение сигнала и повышение интенсивности крыльев, приводящие к замедлению спада сигнала, т. е. усилению вклада лоренцевой формы линии.

Однаковое значение  $A_{\text{CTC}}$  во всех исследованных образцах согласуется с установленной для нескольких сотен образцов воспроизводимостью и других параметров сигнала ЭПР [4], что является еще одним весомым аргументом в пользу стабильности молекулярной структуры ароматического ядра ГК.

Таким образом, специфическая трансформация формы спектров ЭПР гуминовых кислот при высоких уровнях СВЧ-мощности объясняется наложением синглетного и дублетного сигналов. При этом, по мнению авторов, возможность проявления дублетного сигнала при высоких уровнях СВЧ-мощности обусловлена СТВ неспаренного электрона с ядром магнитного изотопа  $^{13}\text{C}$ .

### Литература

1. Агабеков, В. Е. О парамагнетизме полимеров с развитой системой сопряжения / В. Е. Агабеков [и др.] // Докл. НАН Беларуси. 2003. – Т. 47, № 6. – С. 54–58.
2. Белькевич, П. И. Сравнительный ЭПР-спектральный анализ битумов и гуминовых кислот / П. И. Белькевич, С. Г. Прохоров, А. Э. Томсон // Докл. АН БССР. – 1986. – Т. 30, № 10. – С. 929–932.
3. Горовая, А. И. Гуминовые вещества. Строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. – Киев, 1995.
4. Лиштван, И. И. Новые принципы моделирования структуры гуминовых кислот / И. И. Лиштван, В. П. Стригуцкий, Н. Н. Бамбалов // Весці АН БССР. Сер. хім. науки. – 1990. – № 4. – С. 7–10.
5. Любченко, Л. С. Исследование свойств полимеров дифенилзамещенных ацетиленов методом электронного парамагнитного резонанса / Л. С. Любченко [и др.] // Журн. физ. химии. – 1985. – Т. 59, № 12. – С. 3085–3092.
6. Мытько, А. А. Индикатор для ЭПР-спектроскопии / А. А. Мытько, Ю. Ю. Навоша, А. В. Папков // А. с. 1228001 СССР. Опубл. 30.04.86. Бюл. № 16.
7. Навоша, Ю. Ю. ЭПР-спектроскопические исследования строения полисопряженных природных (гуминовые кислоты) и синтетических макромолекулярных образований и их модификаций с металлами / Ю. Ю. Навоша : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1982.
8. Стригуцкий, В. П. Подобие структур ароматического ядра нативного гуминового комплекса и препаратов гуминовых кислот / В. П. Стригуцкий [и др.] // Химия твердого топлива. – 1996. – № 6. – С. 29–32.
9. Гуминовые вещества в биосфере : Тр. IV Всерос. конф. – СПб, 2007.
10. Черепанова, Е. С. Связь парамагнетизма с другими физико-химическими свойствами полимеров с системой полисопряжения / Е. С. Черепанова [и др.] // Журн. физ. химии. – 1985. – Т. 59, № 12. – С. 3079–3084.
11. Saab, S. C. EPR investigations of humic acids structure from soil / S. C. Saab, L. Martin-Neto // Journal of Brazilian Chemical Society. – 2003. – Vol. 14, N 1. – P. 1–7.
12. Wikander, G. Investigation of paramagnetic species in peat / G. Wikander, B. Norden // Soil science. – 1988. – Vol. 145, N 4. – P. 289–297.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 16.10.2014 г.

**V. P. Стригуцкий, Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов**

#### **ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ СВЧ-МОЩНОСТИ НА ФОРМУ СПЕКТРОВ ЭПР ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ**

Специфическая трансформация формы спектров ЭПР гуминовых кислот при высоких уровнях СВЧ-мощности объясняется наложением синглетного и дублетного сигналов. Возможность проявления дублетного сигнала обусловлена СТВ неспаренного электрона с ядром магнитного изотопа  $^{13}\text{C}$ .

**V. P. Strigutskij, L. U. Tsvirko, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov**

#### **EFFECT OF MICRAWAVE POWER LEVEL ON THE SHAPE OF THE EPR SPECTRA OF HUMIC ACIDS**

The specific form of the transformation of the EPR spectra of humic acids at high levels of microwave power is explained by the superposition of the singlet and doublet signals. Ability to display the doublet signal is due to the hyperfine interaction of the unpaired electron with the nucleus of the magnetic isotope  $^{13}\text{C}$ .

УДК 628.1.033

**Д. Д. Гриншпан**

## **ОТКРЫТЫЙ РАЗГОВОР О ВОДЕ, КОТОРУЮ МЫ ПЬЕМ**

*Обсуждаются непростые проблемы централизованного водоснабжения, проблемы качества питьевых вод и технологий водоподготовки [1, 2]. Ставится вопрос о необходимости применения технологий очистки воды с использованием индивидуальных очистных устройств, сохраняющих ее основной катионный состав (кальций, магний и др.).*

### **Качество воды и здоровье населения.**

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Беларусь относится к европейскому субрегиону с низким уровнем детской, но высоким уровнем взрослой смертности.

По данным американских исследователей, Беларусь входит в число стран с высоким уровнем преждевременной смертности взрослого населения (журнал «The Lancet»). В настоящее время риск не дожить до 60 лет составляет 13,2 % у женщин и 37,8 % у мужчин.

По данным Минздрава Республики Беларусь в последние годы в нашей стране отмечается активизация эпидемического процесса по энтеровирусным инфекциям (ЭВИ). Болеют преимущественно дети до 14 лет, 40 % и более из которых – дети младшего школьного возраста. Признано определяющее влияние водного пути распространения инфекции. Неудовлетворительное санитарно-техническое состояние водопроводных коммуникаций повышает риск возникновения вспышек ЭВИ, вирусного гепатита А, а также других острых кишечных заболеваний в общеобразовательных учреждениях. Применяемые в настоящее время методы водоподготовки не гарантируют очистку водопроводной воды от загрязнения вирусными агентами (см. распоряжение Главного санитарного врача № 24 от 26.08.2004).

В 2008 г. ухудшилось качество воды, подаваемой из коммунальных водопроводов, по содержанию железа в Брестской области с 31,6 в 2007 г. до 34,2 %, в Гомельской – с 31,2 до 34,5, в Могилевской – с 28,5 до 29,1 %. По итогам 2008 г. в Брестской области 59,4 % проб воды из ведомственных водопроводов не соответствуют нормам по содержанию железа, в Гомельской – 47,6, в Гродненской – 44,7 %.

В большинстве проб воды из шахтных колодцев отмечено превышение гигиенических нормативов по содержанию нитратов: в Брестской области в 57,6 % проб, Гомельской – 43,8, Гродненской – 49,3, Минской – 45,3 % (см. государственный доклад «О санитарно-эпидемической обстановке в Республике Беларусь в 2008 году»).

Вода Минской очистной водопроводной станции перед поступлением в распределительную сеть отличается запахом и привкусом «хлора», присутствием галогенсодержащих веществ: хлороформа, дихлорэтана, трихлорэтилена, тетрахлорэтилена, тетрахлорметана. Одновременно выявленные патологии у юношей 1989 г.р. по административным районам г. Минска показали, что наиболее высокие уровни отклонений в состоянии здоровья регистрировались в Московском, Фрунзенском и Октябрьском районах, т. е. в районах, где из водопроводных кранов течет хлорированная вода (см. доклад «Здоровье населения и окружающая среда г. Минска в 2007 г.»).

*Вода для питья должна быть безопасной. В ней не должно быть хлора, железа, нитратов и т. п. Питьевая вода – это основной продукт питания. Ее качество не должно зависеть от времени года и места изготовления.*

### **Современный стандарт и реальное качество питьевой воды.**

*Какая вода нам нужна?* Ответ ясен: чистая, без привкуса и запаха. Именно таким критериям, по мнению обычного человека, должна удовлетворять ежедневно потребляемая им из водопроводного крана питьевая вода, т. е. та вода, которая подается в наши дома централизованными системами хозяйствственно-питьевого водоснабжения. В соответствии с действующими СанПиН 10-124 РБ 99 питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

На первый взгляд, человек и государственный стандарт одинаково подходят к оценке качества питьевой воды. Но это только на первый взгляд. На самом деле это не так. Например, по мнению обычного человека, в питьевой воде ничего плохого быть не должно, а по СанПиН – может быть, но в определенных предельно допустимых концентрациях (ПДК): в частности, нитратов – до 45 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридов – до 350, сульфатов – до 500, цинка – до 5, свинца – до 0,03, алюминия – до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> и т. п.

По мнению обычного человека, если в воде есть видимые глазом посторонние примеси, то

эту воду без фильтрации или по крайней мере без отстоя пить не стоит. А по согласованию с СЭС, допускается в определенных случаях, например в период паводков, увеличение мутности и цветности соответственно в 1,3 и 1,75 раза. Мутность и цветность – это обобщенные показатели суммарного содержания в питьевой воде различных нерастворимых и цветных загрязнителей, оказывающих весьма существенное влияние не только на органолептические свойства воды, но и на ее токсичность. Как известно, микроорганизмы и токсичные вещества в основном находятся в водной «грязи», а не в самой воде. Например, по данным украинских ученых, при попадании в воду вируса гепатита, его содержание в воде четко коррелирует с величиной ее мутности. Отсюда следует, что питьевая вода с повышенной мутностью и цветностью может быть источником повышенной опасности для нашего здоровья. К сожалению, в реальной жизни, и об этом знает каждый городской житель, повышенные мутность и цветность водопроводной воды бывают не только в период паводков, а значительно чаще. При этом для того, чтобы анализы на мутность и цветность питьевой воды не очень пугали обывателя, стандарт предусматривает перед отбором пробы сначала произвести слив воды в канализацию (!) в течение 10 минут (!), а затем в лаборатории перед анализом, например, на цветность отобранную пробу следует дополнительно пропустить через сверхплотный мембранный фильтр, задерживающий даже частицы размером до 0,5 мкм (!). Такие приемы позволяют получать «правильные по нормам» значения мутности и цветности, которые не всегда достижимы в обычных условиях и поэтому не характеризуют реально употребляемую нами воду и степень ее загрязнения.

По мнению обычного человека, если вода имеет запах хлора, сероводорода, болота и т. п., то такую воду лучше не пить. По СанПиН такой водой можно пользоваться, даже если запах обнаруживается не только при лабораторном исследовании, но и замечается самим потребителем, если обратить на это его внимание (интенсивность запаха может достигать 2 баллов).

Другой пример. Содержание остаточного хлора в воде строго регламентируется, но в отдельных случаях (по указанию органов санитарно-эпидемиологической службы или по согласованию с ними) допускается существенное превышение предельно допустимых концентраций по остаточному хлору.

Теперь становится понятным, почему даже при полном соблюдении производителями воды требований СанПиН, мы все равно продолжаем часто жаловаться на качество водопроводной воды и мечтаем о воде из родника, ключа или горной реки. Возникает вопрос, почему вода, до-

бытая, например, из глубоких артезианских скважин, в которых практически нет болезнетворной микрофлоры и которая прошла естественную очистку через много слоев природных сорбентов, вытекает из наших кранов с повышенной мутностью, цветностью и неприятным запахом?

Ответ прост. В абсолютном большинстве населенных пунктов вследствие неудовлетворительного качества давно проложенных трубопроводов питьевая вода при прохождении по сетям водоснабжения от станций водоподготовки до потребителей загрязняется нежелательными примесями: песком, нерастворимыми оксидами железа (ржавчиной), коллоидными взвесями, нефтепродуктами, микроорганизмами и т. п. Это приводит к превышению допустимых норм содержания в воде взвешенных частиц, увеличению ее мутности, цветности, токсичности, появлению неприятных запахов и т. д. Кроме того, сегодня все меньше и меньше остается чистых артезианских источников: в водоносные горизонты попадают неочищенные технологические и сточные воды. Особый вред наносят стоки, содержащие нефтепродукты и соли тяжелых металлов. Большой проблемой для многих регионов Беларуси являются подземные воды с повышенным содержанием в них двухвалентного железа. Содержание железа порой превосходит ПДК в десятки раз и более, что требует не только строительства станций обезжелезивания, но и замены устаревших металлических труб городского водораспределения – источника техногенного загрязнения воды тем же железом...

Большой проблемой для города Минска является получение питьевой воды из поверхностных водных источников. В отличие от горных стран, где водоснабжение осуществляется из чистых родников и горных речек с последующими озонированием и фильтрацией через активированные угли, наши поверхностные воды требуют значительно более сложной и дорогой очистки: первичного озонирования, первичного хлорирования, коагуляции, отстаивания, фильтрования на песчаных фильтрах, вторичного хлорирования, и, на наш взгляд, обязательной конечной стадии фильтрации на активированных углях. К сожалению, в условиях Беларуси этот заключительный этап водоподготовки не применяется, что приводит к тому, что после хлорирования и озонирования поверхностных вод, содержащих органические соединения естественного происхождения (биомассу, фитопланктон, микроорганизмы и т. п.), в воде могут появиться продукты их химического взаимодействия с хлором и озоном: хлорированные углеводороды, полихлорфенолы, диоксины, оксипроизводные и т. п. Все эти вещества, как и остаточный хлор, относятся к токсичным и поэтому должны быть

обязательно удалены из воды. Именно для этого и необходима стадия очистки воды на активированных углях. В противном случае такая вода, несмотря на свое соответствие существующим СанПиН не может быть питьевой. Более того, по нашему мнению, она не может быть использована даже для мытья человека, так как практически все перечисленные выше вещества легко проникают через нашу кожу, а затем часть из них накапливается в тканях организма.

Реальным и доступным решением данной проблемы является применение у себя дома малогабаритных высокопроизводительных, но не очень дорогих очистных устройств, устанавливаемых либо при вводе воды в квартиру, подъезд, дом, либо прямо на водопроводный кран. Причем не только на кран или трубу с холодной водой, но и с горячей.

Подобные фильтры должны:

1) удалять из воды нерастворимые механические примеси, появляющиеся в ней по пути от станции водоподготовки до квартиры. К примесям подобного рода относятся песок, ржавчина (окалина) и коллоидныезвеси;

2) удалять из воды хорошо растворимые, но вредные вещества, а именно: активный хлор, органические примеси (фенолы, хлорированные углеводороды, особенно диоксины, нефтепродукты, продукты озонолиза и др.). Эти вещества накапливаются в нашем организме и вызывают многочисленные аллергические и более тяжелые заболевания.

Фильтр не должен выделять в воду какие-либо вредные компоненты: например, мономеры, остающиеся в составе его полимерных корпусов, замасливатели, которые применялись при получении фильтровальных тканей, аппреты, kleящие вещества, входящие в состав фильтрующих нетканых полотен или токсичные органические вещества, находящиеся в составе основного материала, из которого изготавливают или наполняют фильтр-элементы: амины из ионитов, фенолы из фенол-формальдегидных смол и т. п. Нельзя отнести к полезным для организма веществам и избыток йода или нитрат-ионов, выделяющихся при поглощении хлора или ионов хлора материалами ряда бытовых фильтров, содержащих ионообменные группы;

3) не уменьшать содержания полезных компонентов в воде, а именно не удалять кальций, магний, фтор, микроэлементы, которых жителям республики и так не хватает. В противном случае при ежедневном употреблении в течение многих лет подобной «обессоленной» воды здоровью человека будет нанесен только вред. К сожалению, именно этим недостатком грешит большинство представленных на нашем рынке фильтров. Под видом необходимости удаления из водопроводной воды радионуклидов и тяжелых металлов,

которых практически нет в нашей воде, эти фильтры поглощают в огромном количестве указанные выше полезные компоненты (на 75–90 %) и при этом совершенно не гарантируют улавливания микропримесей тяжелых металлов и радионуклидов, если они вдруг появятся.

В качестве фильтров, отвечающих перечисленным требованиям, мы рекомендуем использовать разработанные в Белгосуниверситете патронные фильтры, изготовленные из новых пленочно-тканевых материалов и высокоактивного углеродного полотна производства ОАО «СветлогорскХимволокно».

#### **О государственной программе «Чистая вода».**

У программы «Чистая вода» правильные цели: обеспечить каждого гражданина Республики Беларусь чистой питьевой водой, соответствующей по всем своим параметрам современным требованиям ВОЗ, и внедрить современные технологии очистки сточных вод с целью защиты окружающей среды.

К сожалению, предложенные в программе методы и средства достижения этих целей не являются оптимальными. *На сегодняшнем этапе нельзя делать основную ставку на дорогостоящие централизованные водоснабжение и водоотведение, осуществляемые за счет госбюджета.* Если централизовано вести «водофильтрацию» и «дефекализацию» страны, то создание здоровых условий для проживания всего населения надо отложить как минимум до середины века. В настоящее время в республике насчитывается 23 973 сельских населенных пункта, из них 13 291 – малонаселенные (до 50 человек), а централизованные системы водоснабжения есть только в 5415 сельских населенных пунктах.

Централизованное водоснабжение и централизованное водоотведение требуют больших затрат, а так как денег всегда не хватает, то это предполагает долгострой и как следствие долгостроя внедрение устаревших малоэффективных технологий. Это подтверждают и новые планы: в течение пяти последующих лет обеспеченность населения централизованным водоснабжением, несмотря на огромные затраты, должно увеличиться всего на 2 % (с 85 до 87 %). Эти цифры говорят сами за себя. При этом, несмотря на то, что будет затрачено огромное количество денег, совершенно не обязательно, что будет получена питьевая вода, отвечающая современным мировым стандартам. Например, питьевая вода, поступающая в город из Минской водоочистной станции, со дня своего основания не соответствует этим стандартам, хотя водой из Минско-Вилейской системы уже 30 лет снабжается 1/3 города Минска. За счет средств Программы «Чистая вода» уже две пятилетки идет модернизация станции, а качество воды, поступающей в

город, не улучшается. Не стало меньше в «питьевой» воде хлора, хлороформа, солей алюминия, ХПК, а количество проблем с исходной водой, напротив, только увеличилось.

Непонятно, почему надо в 2011–2015 гг. строить 600 маленьких и очень маленьких станций обезжелезивания, если есть еще старые большие долгострои (это станции, строящиеся 5, 10 и более лет). Надо сначала покончить с долгостроем. Ведь сколько лет строится, столько лет люди употребляют непитьевую воду. Чистая вода, как и чистый воздух – первая потребность и основа здоровой жизни, именно от нее зависит качество и благополучие жизни. Каждый житель нашей республики имеет право на чистую воду. И не когда-нибудь, а уже сегодня. Кому нужны обещания сделать воду питьевой к 2020 г.?

Необходимы локальные очистные сооружения. Более выгодно доочищать воду самому потребителю, чем ее производителю. Почему публично не обсуждаются альтернативные варианты? Почему на такие затратные проекты, как централизованное водоснабжение и централизованное водоотведение, нет бизнес-планов? Почему в такой продвинутой европейской стране, как Финляндия (тоже страна озер), считается, что на пространствах с низкой плотностью населения проводить централизованный водопровод и канализацию нерентабельно? У нас же такой вариант даже не рассматривается.

**Надо менять критерий оценки эффективности использования денег: таковым должно быть не количество строящихся станций, не объем освоенных денег, а количество людей, которые уже не пьют некачественную воду.**

Почему сегодня надо потратить миллиарды рублей на обеззараживание плохо очищенных городских коммунальных стоков с помощью дорогих импортных УФ-ламп, а не поставить эти лампы в плавательные бассейны для людей или использовать их для обеззараживания сточных вод, которые до сих пор поступают в озеро Нарочь – национальное достояние республики?

Отсутствует независимая и ответственная экспертиза. Посмотрите, сколько у нас согласовано «правильных» проектов по очистке сточных вод, а сколько из них реализовано, а те, что реализованы, насколько близки к своим проектным показателям? Почему за неправильно выбранные, но дорогие и неработающие технологии очистки никто не несет персональной ответственности?

В новой программе с 2010 по 2015 г. планируется потратить 1 200 млрд руб., что почти в 2 раза больше, чем в 2006–2009 гг., и, по-видимому, на долю организаций жилищно-коммунального хозяйства, как и в нынешней пя-

тилетке, опять придется более 85 % объема оказываемых услуг по водоснабжению и канализации. **Так кому в первую очередь нужна Программа «Чистая вода»: населению или исполнителям программы? И почему у Программы «Чистая вода» нет научного сопровождения?**

**Правильно ли мы распоряжаемся главным природным ресурсом страны – водой?**

Думается, что нет. Мы очень неохотно используем в водоподготовке новые современные подходы, не создаем на предприятиях замкнутые водооборотные циклы, сточные воды предприятий в подавляющем большинстве случаев чистим формально, зато в огромных объемах неочищенную воду сбрасываем в реки и озера. Например, водосток р. Свислочь по сравнению с естественным ежедневно увеличивается в 2 раза, а оз. Нарочь уже давно стало непригодным для купания. Мы ведем себя не как хозяева своей земли, а как ее случайные и непрошенные гости.

Наличие на территории республики Беларусь многочисленных подземных и поверхностных источников создало иллюзию того, что воды нам хватит на любое количество лет и для любых целей, а поэтому ее можно тратить в любых количествах и даже экспорттировать.

К сожалению, это только иллюзия. Во-первых, воду, как и любое другое полезное ископаемое, нужно сначала добыть, т. е. поднять «на гора», затем доставить потребителю. Цена же добычи и последующей транспортировки воды из-за закономерного ежегодного роста цен на энергоносители и увеличения расстояния от источников воды до места ее потребления постоянно растет. Во-вторых, исходная вода далеко не идеальна по качеству. В частности, поверхностная вода содержит все токсичные компоненты, которые попадают в нее из атмосферы вместе с дождем и снегом, с окружающих полей и лесов в виде стоков (органические удобрения, пестициды, гербициды, стойкие органические загрязнители и т. п.). Вода из большинства подземных источников содержит избыточное количество железа, а в ряде случаев и избыток микроэлементов (бора, фтора и т. д.). Это не позволяет напрямую использовать такую воду не только для питья, но и для хозяйствственно бытовых нужд. Она нуждается в обязательной химической очистке, тем более что сегодня остается все меньше и меньше незагрязненных артезианских источников, так как из-за отсутствия достаточной естественной защиты от поверхностных загрязнителей в водоносные горизонты попадают неочищенные хозяйственно бытовые, промышленные и сельскохозяйственные стоки.

При этом необходимо отметить, что в зависимости от предназначения «добытой» воды и

степени ее исходной загрязненности, стоимость очистки должна быть различной. Но здесь появляется еще один **негативный фактор стандартизированного подхода**: стремление к максимальному удешевлению процесса очистки, например, путем строительства станций обезжелезивания с упрощенной аэрацией и как результат получение при этом продукта несоответствующего качества. А ведь приоритетной задачей любого современного общества, в том числе и нашего, должно быть обеспечение людей не только качественными продуктами питания, но и доброкачественной питьевой водой, соответствующей мировым стандартам. К сожалению, в большинстве населенных пунктов эта задача не решена. По каким причинам?

1. *Первая причина* – это отсутствие соответствия республиканских санитарно-гигиенических требований и норм, предъявляемых к питьевой воде, требованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). В частности, по нормам действующих СанПиН 10-124 РБ 99, в питьевой воде, получаемой из поверхностных источников, обязательно должен присутствовать хлор в количестве не менее 0,8–1,2 мг/дм<sup>3</sup>, содержание хлороформа может достигать 200 мкг/дм<sup>3</sup>, алюминия – 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, железа – 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, а при отсутствии требуемой технологии водоподготовки по постановлению Главного государственного санитарного врача соответствующей территории ПДК на железо может быть увеличена более чем в 3 раза – до 1 мг/дм<sup>3</sup>. То же самое и с марганцем (от 0,1 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>). В то же время в соответствии с международными и последними белорусскими нормами для питьевой воды, расфасованной в емкости, вообще не допускается применение препаратов хлора в процессе обработки воды, а содержание хлороформа не должно превышать 60 мкг/дм<sup>3</sup> (в США – 6 мкг/дм<sup>3</sup>), алюминия – 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, марганца – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

По нашему мнению, отсутствие новых современных технологий водоподготовки в том или ином населенном пункте – это не повод выдавать непитьевую воду за питьевую. Напротив, население должно знать обо всех превышениях ПДК и не употреблять такую воду. Человек при этом не останется без воды: сегодня везде есть бутилированная вода, есть фильтры доочистки воды. Предоставлять людям недоочищенную воду – это оказывать им медвежью услугу. Ведь употребление воды непитьевого качества – это прямой путь к инициированию различных заболеваний.

Министерству здравоохранения РБ пора начать думать не об экономических проблемах Министерства жилищно-коммунального хозяйства, местных исполнительных и подчиненных им водоканалов, не внедряющих эффективные техно-

логии водоочистки, а о здоровье людей. Своей псевдогосударственной политикой чиновники указанных ведомств **nanoсят конкретный вред здоровью белорусских людей** и соответственно государству, которое обязано заботиться о здоровье своих граждан.

2. *Вторая причина* – отсутствие специалистов, реально занимающихся очисткой воды от таких загрязнителей, которых не было или о которых не знали еще 30 лет назад. К сожалению, сегодня значительно больше специалистов, которые регулярно пишут письма в санитарные службы с просьбой разрешить временно (а лучше постоянно) превышать разрешенные нормы (когда они в них не укладываются), например, по перманганатной окисляемости (до 5 мг/дм<sup>3</sup>), хотя во всем цивилизованном мире эта цифра для питьевой воды не должна превышать 2 мг/дм<sup>3</sup>.

Все повседневные действия недостаточно сведущих людей в области водоподготовки ограничиваются в лучшем случае поддержанием когда-то достигнутого «советского» уровня очистки воды путем замены труб, хлораторных и т. п., участием в совещаниях по составлению перспективных планов работ, в зарубежных поездках и в тендерах по закупке импортного оборудования, при этом далеко не самого эффективного. Например, внедрение на Минской водоочистной станции цеха по углеванию при существующей технологической схеме очистки ничего с точки зрения улучшения качества воды не несет, кроме дополнительных капитальных затрат и повышения себестоимости целевого продукта. Этот цех работает не более 2–3 месяцев в году и расходует не менее 3 000 \$ ежедневно только на закупку угля. При этом практически невозможно увидеть улучшение качества подаваемой в город воды. По своей бесполезности этот процесс соответствует только другому дорогостоящему процессу, осуществляющемуся сегодня на этой же станции, – озонированию. Озонирование при одновременном хлорировании приводит лишь к сверхвысоким расходам электроэнергии, но не улучшает качества воды и не уменьшает содержания в ней хлора и хлорорганических соединений.

Другой пример, на наш взгляд, явно нерационального подхода к обеспечению населения водой. Известно, что строительство станций обезжелезивания – это один из самых труднорешаемых вопросов (он дорог и долг). И пока он решается, руководство водоканалов не отключает от действующих водоводов скважины, в которых содержание двухвалентного железа очень часто превышает ПДК в 3,5 раза и более. Так как эксплуатируемые сегодня станции обезжелезивания не справляются с окислением двухвалентного железа, то процесс доокисления избыточного железа продолжается в трубах с отложением в них оксидов и гидроксидов железа с сорбирован-

ной на них микрофлорой, что ведет к естественному загрязнению воды, поступающей к потребителю. Подобная водоподготовка приводит не только к ухудшению качества питьевой воды, но и к ее перерасходу. Во-первых, каждый потребитель увеличивает время слива воды из крана, во-вторых, на станциях обезжелезивания увеличивается количество чистой воды, идущей на промывку фильтров из-за сокращения фильтр-циклов (быстрее забиваются), и, в-третьих, очень много чистой воды уходит на промывку транспортных труб городского хозяйства. В Минске ежегодно промывают под повышенным давлением от 200 до 500 км загрязненных труб. Но при этом никто не промывает внутридомовые водопроводные сети. Поэтому после промывки труб большого диаметра количество грязи в трубах малого диаметра не уменьшается.

**Что делать?** В обязательном порядке надо привлекать для обсуждения трудных задач независимых от Водоканалов и их кураторов специалистов. Ведь деньги, которые тратятся на программы типа Программы «Чистая вода» – это госбюджетные деньги, т. е. наши общие. И как они будут потрачены, населению должно быть не безразлично. Населению не безразлично и какого качества воду оно за эти деньги получит. Поэтому должна быть проведена научно-общественная экспертиза проектов, предлагаемых к реализации. Лучше провести дополнительные обсуждения и, если потребуется, дополнительный эксперимент, чем сначала по типовому проекту построить капитальные сооружения, закупить и смонтировать дорогостоящее импортное оборудование, но не получить при этом чистую воду, сославшись на сложный состав исходной воды. Точно такая же проблема сегодня стоит и в области технологий очистки сточных вод и утилизации отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Поэтому **надо реализовывать новые устройства и технологии**. В качестве примера можно привести устройства и технологии, созданные в Белгосуниверситете. Они существенно отличаются от зарубежных.

1. В БГУ созданы фильтры для потребителя, а не для производителя. В таких фильтрах в первую очередь нуждаются детские (ясли, сады, школы, гимназии, училища и т. п.) и медицинские (больницы и поликлиники) учреждения, пользующиеся водой из поверхностных водоисточников (г. Минск и г. Гомель). При обязательном хлорировании поверхностной воды в ней образуются многочисленные токсичные хлорорганические соединения. Такая вода не может быть питьевой. Перевод, например, Московского, Фрунзенского и Октябрьского районов города Минска, потребляющих воду из поверхностных источников, на воду из подземных планируется осуществить в

лучшем случае не ранее 2020 г. А что пить до этого времени? Эту проблему можно решить уже сегодня с помощью малогабаритных высокопроизводительных и многократно полностью регенерируемых фильтров БГУ, изготовленных из новых пленочно-тканевых и углеволокнистых материалов. Эти фильтры, установленные непосредственно у потребителя, дехлорируют воду, удаляют из нее органические и хлорорганические соединения, а также нерастворимые соли железа и коллоидные примеси тяжелых металлов. Вода становится питьевой, пригодной для приготовления пищи. Учитывая, что у подобных фильтров с учетом их эффективной регенерируемости практически не ограничен ресурс (на сегодня он составляет уже более 20 лет), они позволяют получать воду с самой низкой себестоимостью.

2. Если Министерства здравоохранения и жилищно-коммунального хозяйства Беларуси, Минский горисполком считут, что здоровье людей и хлорированная вода в качестве питьевой несовместимы, то **организовать промышленное производство и осуществить установку таких фильтров** возможно в кратчайшие сроки, так как основные исходные материалы производятся в Республике Беларусь.

3. Кроме фильтров Белгосуниверситет в последние годы разработал **принципиально новую технологию получения питьевой воды практически из любых загрязненных или сверхзагрязненных источников**. На сегодняшний день совместно с Министерством по чрезвычайным ситуациям уже изготовлено шесть мобильных водоочистных установок производительностью до 20 т питьевой воды в сутки, не имеющих мировых аналогов. Сегодня такие установки могут и должны применяться не только в условиях чрезвычайных ситуаций или военного времени, но и на гражданских объектах в районах, не имеющих центрального водоснабжения. Например, можно размещать такие установки в удаленных малонаселенных пунктах или в местах временного пребывания людей вместо того, чтобы сооружать для этих населенных пунктов дорогостоящие водопроводные сети. Эти технологии и устройства могут быть предложены для реализации и в другие страны, в которых есть проблемы с питьевой водой.

4. Разработанные в БГУ материалы – «водорастворимый» уголь и нефтесорбент на основе лигнина – оказались очень эффективными средствами для очистки поверхностных и сточных вод от таких «тяжелых» загрязнителей, как нефтепродукты, пестициды, поверхностно-активные вещества, молочные сыворотки, соли тяжелых металлов различных химических и гальванических производств. Сегодня Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды, водоканалам нужно не периодически, а регулярно

штрафовать предприятия за грязные стоки, так как предлагаемые новые недорогие технологии позволяют достичь требуемой степени очистки сточных вод. Недорогие технологии – это технологии, которые не нуждаются в применении дорогостоящих мембранных установок, но при этом обеспечивают многократный оборот используемых вод, а не их слив в канализацию.

#### **Сточные воды. Жесткий подход – нулевой результат.**

Действующее законодательство, регламентирующее природоохранную деятельность в Беларуси, основано на нормативно-правовой базе бывшего СССР и в настоящее время не отвечает современным экологическим, экономическим и международным нормам. Утверждаемые облисполкомами (горисполкомами) требования к качественным показателям сточных вод, отводимых в коммунальные сети канализации, в большинстве случаев не способствуют развитию и внедрению природоохранных мероприятий, а в отдельных случаях оказываются явно нецелесообразными и несостоятельными.

За последние два десятилетия на спроектированных институтом «Белпромпроект» новых или реконструируемых котельных дорогостоящие технологии по приведению к «норме» хлоридов не реализованы строительством ни на одном объекте, так как по экономическим причинам реализовывать такие технологии, как выпарка, обратный осмос, электродиализ и т. п., не представляется возможным.

По установленным «жестким» требованиям Республика Беларусь оказалась далеко впереди многих промышленно развитых стран мира. Например, требования к составу сточных вод, поступающих в городскую канализацию, по многим показателям устанавливаются на уровне ПДК для питьевой воды. Доходит до абсурда: взятая из открытого водоема и не использованная в производстве вода не может быть без очистки сброшена не только обратно в водоем, но даже в канализацию!

В результате, имея предельно жесткие нормативные требования к составу производ-

ственных сточных вод, Беларусь ни на шаг за два десятилетия не приблизилась к реальному улучшению экологической ситуации. Действующая сегодня система никак не стимулирует предприятия к внедрению природоохранных технологий, но позволяет избирательно вводить штрафные санкции, не улучшая при этом качество сточных вод.

В Программе «Чистая вода» при решении задачи по обеспечению жителей агрогородков централизованным водоснабжением предусматривается строительство 600 станций обезжелезивания, 2300 км водопроводных сетей, 570 скважин, но совершенно ничего не говорится о водоотведении, а ведь без водоотведения нельзя заниматься водоснабжением.

Нельзя проводить в дом водопровод без одновременного водоотведения (канализации). Нельзя строить станции обезжелезивания без решения вопроса утилизации промывных вод, содержащих окисленное железо. Нельзя бурить скважины на воду, а рядом с ними ставить туалеты. *Нельзя тратить огромные деньги и при этом создавать экологически опасные объекты.*

И так, что в заключение?

1. Вода для питья должна быть безопасной. В ней не должно быть «хлора», «железа», «нитратов» и т. п. Питьевая вода – это основной продукт питания.

2. Несмотря на кажущееся соответствие СанПиН 10-124 РБ 99 научно обоснованным нормативным документам, питьевая вода в системах централизованного водоснабжения Беларуси по ряду ее химических показателей не может быть использована в качестве питьевой без ущерба для здоровья населения.

3. С учетом реального состояния экономики страны и высокой стоимости внедрения современных технологий водоподготовки в системы централизованного водоснабжения представляется целесообразным обеспечение потребителей дополнительными индивидуальными очистными устройствами.

#### **Литература**

1. Гриншпан, Д. Д. Качественная питьевая вода и современные методы ее получения / Д. Д. Гриншпан [и др.] // Междунар. сотрудничество в решении водно-экологических проблем : материалы III Междунар. водного форума, г. Минск, 2–3 окт. 2008 г. / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [и др.]. – Минск, 2008. – С. 148–150.
2. Гриншпан, Д. Д. Правильно ли мы распоряжаемся главным природным ресурсом страны – водой? / Д. Д. Гриншпан // Стратегические проблемы охраны и использования водных ресурсов : материалы IV Междунар. водного форума, Минск, 12–13 окт. 2010 г. – Минск, 2011. – С. 69–71.

**Белорусский государственный университет**

Поступила в редакцию 10.07.2014 г.

Д. Д. Гриншпан

**ОТКРЫТЫЙ РАЗГОВОР О ВОДЕ, КОТОРУЮ МЫ ПЬЕМ**

---

В статье обсуждаются сегодняшние проблемы обеспечения населения республики Беларусь качественной питьевой водой, рассматриваются существующие критерии оценки качества воды, получаемой из подземных и поверхностных водоисточников, используемые и новые технологии водоподготовки и водоотведения (очистки сточных вод), мероприятия, проводимые по программе «Чистая вода». Предлагается установить единые требования к качеству питьевой воды, соответствующие мировым стандартам, и обеспечивать население безопасной водой не только с помощью дорогостоящей системы централизованного водоснабжения, но и с помощью локальных и индивидуальных очистных устройств.

**D. D. Grinshpan**

**OPEN CONVERSATION ABOUT THE WATER WHICH WE DRINK**

---

*The current problems of providing the population of the Republic of Belarus with quality drinking water are discussed in the article, the existing criteria for assessing the quality of water obtained from groundwater and surface water sources used and new technologies of water and wastewater (sewage) the activities carried out under the «Clean water» program are considered. It is proposed to establish the common requirements for the quality of drinking water, which are relevant to international standards, and to ensure safe water supply not only through expensive centralized water supply system, but also with the help of local and individual treatment devices.*

## Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири

С 18 по 21 августа 2014 г. в Томске на базе ГНУ Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа Российской сельскохозяйственной академии с участием Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и Национального исследовательского Томского государственного университета прошла Вторая международная научно-практическая конференция «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири». В работе конференции приняли участие представители Республики Беларусь, Китая, Финляндии, а также различных регионов России: Томской, Тюменской, Тверской, Московской, Свердловской, Новосибирской областей, Алтайского края, Якутии (Республика Саха).

Научные направления конференции:

1. Генезис, разведка и ресурсы торфа.
2. Физика и химия торфа.
3. Использование торфа в энергетике.
4. Торф и сельское хозяйство.
5. Применение торфа в медицине.
6. Торфоизоляционные материалы.
7. Комплексная переработка торфа.
8. Природоохранные аспекты при производстве и применении торфяной продукции.
9. Геоэкологические аспекты изучения торфяных болот.
10. Экологические проблемы разработки торфяных месторождений.
11. Современные технологии в изучении и разработке торфяных ресурсов.

Республику Беларусь представляли на конференции главный научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси академик И. И. Лиштван, директор Института природопользования НАН Беларуси член-корреспондент А. К. Карабанов, начальник отдела ГПО «Белтопгаз» А. В. Осипов.



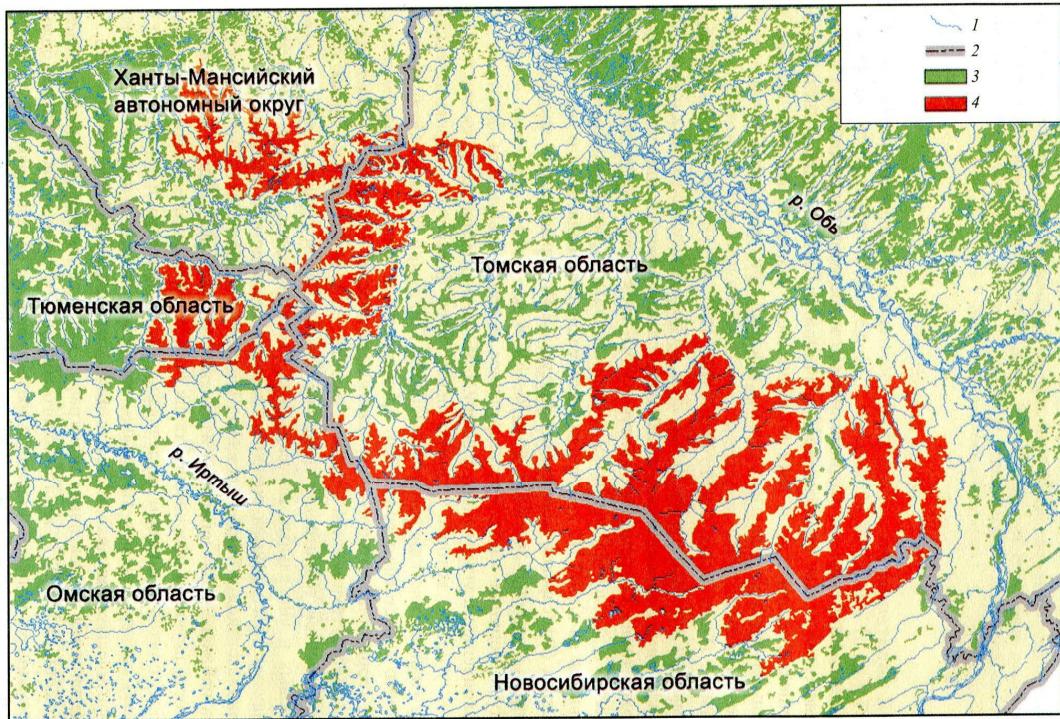
**А. В. Осипов, А. К. Карабанов, И. И. Лиштван на заседаниях конференции**

Участники конференции, научные сотрудники и производственники учреждений и организаций ряда регионов Сибири проявили исключительно большой интерес к научным и прикладным разработкам по торфу нашей страны, к использованию торфа в различных отраслях экономики, к работе торфяной промышленности Республики Беларусь. И это понятно, так как, несмотря на наличие в Сибири значительных запасов нефти и газа, проявляется большая заинтересованность к разработке торфяных ресурсов этого края. А запасы торфа здесь весьма велики. Только одно Васюганское месторождение (болото), являясь крупнейшим в мире, занимает площадь более 50 тыс. км<sup>2</sup>, по водозапасу – более 400 км<sup>3</sup> и по накопленным за 10 тысячелетий торфяным запасам – несколько миллиардов тонн (в Беларуси – около 4 млрд тонн). Современные контуры этого уникального природного объекта, образованного за тысячелетия путем слияния отдельных мелкомасштабных болот-месторождений, представлены на карте-схеме. Этот водно-болотный торфяной объект в значительной мере формирует гидрохимический состав и гидрологический режим Западно-Сибирской равнины. Особый научный интерес в настоящее время привлекает Большое Васюганское месторождение торфа (болото) как природное образование, на большой территории которого природно-климатические процессы развиваются в условиях слабой техногенной нагрузки в отличие от условий европейской части России и Беларуси.

В связи с этим и с учетом перспективного промышленного освоения данной территории, связанного с разработкой торфозалежей, а также нефтегазовых и уникальных железорудных месторождений, имеет научный и практический интерес сравнительное исследование комплексных проблем природопользования в Республике Беларусь и Сибири для последующей минимизации антропогенных изменений в окружающей среде и климате при освоении природных ресурсов Сибири.

В целом если признать, что страны бывшего СССР насчитывают 40 % торфяных ресурсов мира, то 60 % располагается в Сибири, включая Большое Васюганское месторождение (болото) с Ксинским болотом с мощностью торфяной залежи до 3,5–4 м и болотом Темное с мощностью торфяной залежи до 3–3,5 м.

Имеющаяся литература по торфяным месторождениям Сибири и материалы конференции однозначно свидетельствуют о наличии значительных запасов торфа в этом крае и больших перспективах использования здесь торфяных ресурсов, что еще раз свидетельствует о справедливости слов классика, что «богатство России будет прирастать Сибирью».



**Карта-схема расположения Большого Васюганского болота:**  
1 – реки; 2 – границы областей; 3 – болота; 4 – БВБ

Программа конференции включала пленарные доклады и выступления с сообщениями на трех секциях:  
генезис, разведка и технология добычи торфа;  
геоэкологические аспекты изучения торфяных болот;  
физика и химия торфа, продукты переработки.

На пленарном и секционных заседаниях участниками конференции было представлено 35 научных докладов, состоялся круглый стол «Опыт и перспективы создания торфяных предприятий» с участием ведущих ученых, имеющих опыт организации торфяного производства.

В работе конференции принял участие начальник Департамента по науке и инновационной политике администрации Томской области А. Ю. Макеев, который выступил с приветственным словом.

На пленарной сессии выступили ведущие ученые – участники конференции, в том числе специалисты из Беларуси. Академик И. И. Лиштван представил доклады о перспективах комплексного освоения торфяных ресурсов Республики Беларусь и о физико-химических свойствах торфа и их трансформации при освоении торфяных ресурсов; директор Института природопользования НАН Беларусь член-корреспондент А. К. Карабанов доложил о направлениях работы института и перспективах сотрудничества в области торфяных ресурсов; начальник отдела ГПО «Белтопгаз» А. В. Осипов – о торфяной промышленности Республики Беларусь. Доклад

представителя Международного торфяного общества Leena Larva (Финляндия) был посвящен проблеме применения торфа в бальнеологии; старший научный сотрудник Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН Ю. И. Прейс рассказал об особенностях временной и пространственно-временной динамики болот сезона промерзания Западной Сибири.

Работа секции 1 «Генезис, разведка и технологии добычи торфа» была посвящена рассмотрению вопросов изменений стратиграфии и свойств торфяной залежи после осушения, проблемам разложения растительных остатков в торфяной залежи и т. д.

На заседании секции 2 «Геоэкологические аспекты изучения торфяных болот» был представлен ряд докладов, посвященных проблемам современной аккумуляции углерода, торфяным пожарам, вопросам сточной динамики температуры и испарения с торфяной залежи, особенностям структуры и динамики болотных ландшафтов, использованию морфометрических показателей простейших в качестве источника дополнительной информации о палеотермическом режиме месторождений торфа.

На заседании секции 3 «Физика и химия торфа, продукты переработки» были представлены доклады, посвященные технологии очистки сточных вод в системе constructed wetlands, проблемам химической и биотехнологической переработки торфа, производству торфяных препаратов и стимуляторов роста растений, оценке эффективности их применения в растениеводстве и живот-

новодстве, рассмотрены особенности состава органических соединений верховых торфов Беларуси и Западной Сибири, процессы формирования лабильного органического вещества в ходе биологической рекультивации при применении торфяных препаратов и др.

В рамках работы круглого стола «Опыт и перспективы создания торфяных предприятий» были заслушаны доклады, посвященные вопросам применения торфа в энергетике, разработке газогенераторов, использованию торфа и сапропеля в качестве компонента буровых растворов, а также было выдвинуто предложение о создании горно-химического комбината по глубокой комплексной (включая термобиохимическую) переработке торфа. В сообщении прозвучало приглашение к участию в этом проекте заинтересованных лиц и организаций.

По результатам работы второй Международной научно-практической конференции «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири» издан сборник материалов, представленный в Международное общество по торфу (International Peat Society).

Участники конференции отметили актуальность и своевременность обсуждаемых проблем, профессионализм докладчиков и выступающих, высокий организационный уровень. Было отмечено, что необходимо продолжать исследования в области рационального использования торфяных и других природных ресурсов Сибири, и рекомендовано объединить информационные, интеллектуальные, кадровые ресурсы российских, белорусских, финских и китайских ученых и специалистов для повышения эффективности этой работы.

В соответствии с предложениями, высказанными на конференции, определены следующие основные направления сотрудничества: торфодобыча, комплексное изучение и рациональное использование природных ресурсов, торфопереработка (в том числе производство торфобрикетов, разработка и производство буровых растворов на основе торфа и сапропеля), производство газогенераторов на торфе, подготовка и переподготовка кадров в области торфяных ресурсов и торфодобычи.

По результатам работы конференции и проведенных переговоров в целях укрепления и расширения взаимовыгодных связей, координации и совместного выполнения научно-исследовательских работ подписано Соглашение о сотрудничестве между Институтом природопользования НАН Беларуси и Сибирским НИИ сельского хозяйства и торфа Российской сельскохозяйственной академии сроком на 5 лет. Подготовлен перспективный план мероприятий по развитию сотрудничества в области изучения и комплексного освоения торфяных ресурсов между заинтересованными организациями Томска и Институтом природопользования НАН Беларуси. Предложено создать совместную лабораторию двойного подчинения с целью координации и вы-

полнения совместных научных исследований в области изучения разных видов торфа, торфоресурсов, торфопродукции, глубокой переработки торфа и производства, проведения изысканий и проектирования предприятий по освоению месторождений, торфодобывающих предприятий, подготовки инвестиционных проектов в рамках развития торфяной отрасли.

Организаторами конференции были подготовлены и проведены две экскурсии – на торфяное месторождение Темное и отроги Васюганского болота (Иксинское болото).



И. И. Лиштван и А. К. Карабанов  
во время экскурсии

Торфяное месторождение «Темное» имеет площадь 19 км<sup>2</sup>, средняя мощность торфяной залежи 2,5 м и представлено верховыми, переходными и низинными видами торфа. Торфяное месторождение в 80-х годах было частично освоено, проведены осушительные работы на 320 га низинной залежи и 190 га верховой залежи. Объем добычи торфа составил в год до 400 тыс. т. В 1992 г. добыча торфа прекратилась. В настоящее время вся осущененная площадь полей добычи торфа без повторного заболачивания заросла лесом и кустарником, осушительные каналы заросли растительностью и заполнены водой, озеро глубиной 6 м расположено за пределами осушительной сети и не пострадало от изменения уровня грунтовых вод на полях добычи торфа, что порой констатируется у нас как фактор гибели озера. Торф предназначался для производства органических удобрений. В настоящее время ставится вопрос о возрождении на этом месторождении добычи торфа как энергетического топлива и сырья для производства удобрений, ростовых веществ и биостимуляторов. Сделано предложение об оказании технической помощи со стороны организаций Республики Беларусь в оценке ресурсов, в выполнении проектных и строительных работ, в заготовке торфа и проведении осушительных работ машинами и агрегатами белорусского производства.

Иксинское болото (месторождение) – водосточный отрог Васюганского болота расположено в 110 км от Томска и рассматривается как объект

генезиса в геоморфологическом плане с учетом различных фитоценозов.

Как уже отмечалось, конференция проходила на базе Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа Россельхозакадемии, созданного в 2005 г. на базе трех научных учреждений: Сибирского НИИ торфа, Томской государственной сельскохозяйственной опытной станции и Наримской государственной селекционной станции. Общая численность работающих в институте составляет 155 человек, из них 97 сотрудников работают в научном секторе, в том числе 3 доктора наук и 24 кандидата наук. На базе института созданы Аграрный научно-образовательный центр Томской области и Межведомственная лаборатория новых материалов и технологий переработки торфа (совместно с Томским государственным университетом). Институт ориентирован на динамичное инновационное развитие на основе гармоничной интеграции в научное общество Россельхозакадемии, агропромышленный и научно-образовательный комплекс Томской области.

Основные научные направления тесно увязаны с проблемами сельского хозяйства, в решении которых видное место занимают продукты переработки торфа (высокоэффективные экологически безопасные удобрения и регуляторы роста растений, биологические средства защиты растений, кормовые добавки, сорбенты и мелиоранты). Необходимо отметить высокую эффективность внутриинститутского сотрудничества ученых и специалистов сельского хозяйства, с одной стороны, и сотрудников, занимающихся проблемами глубокой переработки торфа – с другой. Над проблемами изучения и использования торфа работают: лаборатория торфа и экологии, лаборатория агроэкологии, лабораторно-аналитический центр, лаборатория физико-химических исследований, лаборатория биотехнологии, лаборатория биологически активных веществ, лаборатория испытания биопрепаратов. В структуре института четыре отдела, включающие опытное производство. Основные научные направления института по проблемам сельского хозяйства связаны с созданием адаптивных высокурожайных сортов сельскохозяйственных культур, с разработкой экологобезопасных зональных технологий семеноводства, с оценкой продуктивности земель с использованием информационных и компьютерных технологий, с применением разработанных в институте торфяных ростовых и биологически активных препаратов, обеспечивающих стабильное производство продукции растениеводства и животноводства. Полевые опыты и производственные испытания проводятся на почвах, закрепленных за институтом, а это 2,3 тыс. га.

Думается, что такая структура вполне приемлема и для Института природопользования НАН Беларуси.

Во время работы конференции участники посетили электромеханический завод, где ознакомились с опытными образцами газогенераторов, силовой газ которых используется как моторное топливо.

Весьма полезным было посещение Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, где работают известные ученые в области физики атмосферы. Директор и ведущие ученые института рассказали и показали результаты работ по различным аспектам климатических и экологических исследований. Удачно сочетается работа института с Сибирским НИИ сельского хозяйства и торфа, где изучаются особенности формирования торфяных месторождений в различных природноклиматических зонах и при различном водообеспечении. Исследования проводятся с использованием различных оригинальных приборов для измерения различных параметров торфяной залежи по глубине с одновременным измерением ботанического состава, метеорологических параметров, величин испарения. Измерения проводят дистанционно с компьютерным анализом материалов. Для наших геологов представляются интересными геологические исследования палеотермического режима формирования болот в голоцене. Рассматриваются также болотные комплексы в структуре ландшафтов отдельных бассейнов рек. Томский институт мониторинга климатических и экологических систем широко известен как учреждение, изучающее особенности климата и миграции озона с использованием лидарных и других систем. В институте не рассматривают влияние парниковых газов на развитие глобальных климатических процессов. Созданы новые лидарные комплексы, и в целом все исследования ведутся с использованием разработанного оборудования. Высказывается мысль о целесообразности сотрудничества не только с нашими физиками, но и с учеными и специалистами по природопользованию. Институт имеет современную экспериментальную базу и опытные производства, что и в значительной степени определяет их успех.

В заключение заметим, что, по мнению участников конференции, проведение данного мероприятия дало новый импульс развитию исследований в области изучения и рационального использования торфяных ресурсов, созданию новых продуктов и материалов на основе глубокой переработки торфа для различных отраслей экономики, укреплению кадрового потенциала. Это будет способствовать развитию торфяной отрасли не только в Сибири, но и в других странах, тем более напрашивается необходимость активизации различных форм научно-технического сотрудничества.

И. И. Лиштван,  
А. К. Карабанов

## Географические исследования путей достижения устойчивого развития территорий

С 16 по 20 сентября 2014 г. в Баку (Азербайджан) прошла XVII сессия Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации академий наук и Научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН. Подобные сессии проводятся ежегодно. Тема сессии в Баку – «Географические проблемы региона Каспийского моря и изучение путей достижения устойчивого развития территорий». В организации сессии деятельное участие принял Институт географии имени академика Гасана Алиева Национальной академии наук Азербайджана (НАНА).

Первым был заслушан доклад академика НАНА Р. М. Мамедова «Воздействие климатических изменений и антропогенной нагрузки на экосистему Каспийского моря». В нем показано, что социально-экономическое развитие всего Каспийского региона во многом зависит от изменения природных условий и, в первую очередь, от колебаний уровня Каспийского моря. В результате последнего подъема уровня, который составил около 2,5 м за последние два десятилетия, экономический ущерб социально-экономической жизни прибрежного региона составил более 20 млрд. долл. США. Поступление загрязняющих веществ с речной водой, загрязнение от нефтегазодобычи, транспортировки и переработки нефти, сточными водами прибрежных городов приводят к нарушению естественных биохимических циклов в морской экосистеме и эвтрофикации моря.

В докладе члена-корреспондента РАН С. А. Добролюбова с соавторами (МГУ) представлены методические аспекты и содержание создаваемого комплексного электронного атласа Каспийского моря. В атласе, наряду с изложением современной ситуации, особое внимание уделяется этапам истории изучения Каспия, роли экспедиционных и стационарных исследований в его познании. В докладе Ф. А. Кадырова и А. А. Фейзуллаева (Институт геологии НАНА) была продемонстрирована геодинамическая модель нефтегазоносности Южно-Каспийской впадины и показана приуроченность нефтяных и газовых месторождений к определенным геологическим структурам.

В докладе члена-корреспондента НАНА Э. К. Ализаде с соавторами (Институт географии НАНА) отражены ландшафтно-экологические особенности геосистем западного побережья Каспийского моря, представлены результаты детального ландшафтно-геохимического картографирования. Л. В. Десинов с соавторами (Инсти-

тут географии РАН) в своем докладе убедительно показали возможности мониторинга нефтяных загрязнений Прикаспийского региона с международных космических станций. При этом для фотографирования поверхности Земли космонавты широко используют полноформатные зеркальные фотокамеры Nicon с разрешением на местности 3,6 м.

Проблема, поднятая в докладе академика В. А. Румянцева (Институт озероведения РАН) отражена в его названии: «Цветение синезеленых водорослей – глобальная социально-экологическая проблема». В последние годы в воде озер все чаще обнаруживаются цианобактерии – высокотоксичные вещества, вырабатываемые водорослями. Так, летом 2014 г. пол-миллиона жителей американского города Толедо остались без воды из-за обнаружения токсического вещества микроцистина в водопроводе. Вода по водопроводу поступает из озера Эри, где могут находиться цветущие водоросли. Микроцистин, который они выделяют, может стать причиной сильного отравления, вызвать сильное кишечное расстройство, тошноту, а также нанести серьезный вред печени. При этом воду нельзя использовать для приготовления пищи и питья даже после предварительного кипячения. Помимо влияния на здоровье человека, являются гибель биотического комплекса самоочищения водоемов, зарастание конденсаторов охлаждения блоков электростанций, забивка фильтров водозаборов, активация коррозионного разрушения материалов трубопроводов, плотин, и гидротехнического оборудования, рекреационная безопасность. Одной из причин все чаще фиксируемого цианобактериального цветения водоемов докладчик назвал потепление климата.

В докладе Н. И. Короневича с соавторами (Институт географии РАН) «Факторы изменения волжского притока в Каспийское море» были представлены результаты многолетних гидрологических исследований в бассейне Волги. Показано, что влияние антропогенного фактора в наибольшей степени сказывается на стоке половодья (объем суммарного снижения стока за период с 1930 г. составил  $2620 \text{ км}^3$ ) и годовом стоке (суммарное снижение –  $1044 \text{ км}^3$ ), тогда как зимний сток в общей сложности вырос на  $1487 \text{ км}^3$ , а интегральный эффект антропогенного воздействия на сток за летне-осенний период (приведший к его росту) оказался относительно невелик (около  $196 \text{ км}^3$ ).

В докладе Н. Элизбарашвили (Тбилисский государственный университет) были рассмотре-

ны проблемы, решаемые географами Грузии. Среди перспективных научных направлений были названы: региональное планирование и стимулирование развития сельского хозяйства на основе изучения и прогнозирования агропотенциала ландшафтов с учетом традиции ведения агропроизводства, внедрение нового направления в географии – «управление ландшафтами» на основе социоэкологических опросов населения, создание методологии ландшафтного планирования городских агломераций и экологических коридоров.

Ф. А. Имамов (Бакинский государственный университет) в своем докладе охарактеризовал естественные и антропогенные факторы трансформации годового стока реки Куры. В докладе А. В. Измайловой (Институт озероведения РАН) на примере Прикаспийского региона показана роль больших и малых озер в развитии территорий.

Вопросы пространственного планирования предгорных районов Азербайджана рассмотрены в докладе А. И. Чистобаева, О. В. Красовской, С. В. Скатерщикова (Научно-исследовательский институт пространственного планирования «Энко», Россия) и В. Сефиханлы (Компания R.I.S.K., Республика Азербайджан). «Территориальная структура населения и перспективы модернизационных процессов в Кавказском регионе» – тема доклада О. Б. Глазер (Институт географии РАН) и С. Г. Сафонова (МГУ).

Современному состоянию и перспективам общекавказского научного сотрудничества были посвящены доклады Р. Г. Грачевой и Ю. П. Баденкова (Институт географии РАН).

В докладе А. А. Тишкова и Е. А. Белановской (Институт географии РАН) были рассмотрены вопросы возможной стратегии сохранения биологического и ландшафтного разнообразия суши и водно-болотных экосистем Северного Каспия и Нижней Волги. Учитывая напряженность экологической ситуации в регионе (пойма сохнет, дефицит воды для населения, озера и протоки пересыхают, гибнет рыба, растет частота весенних травяных пожаров, велик уровень браконьерства, имеют место трансформация экосистем и загрязнение среды) докладчиками предложены следующие направления решения проблемы: разработка и принятие специальной международной конвенции, внедрение подходов и методов комплексного управления

территориями на различных уровнях, внедрение экономических механизмов регулирования природопользования, основанных на концепции экосистемных услуг и устойчивом использовании ресурсов.

«Динамика экологических характеристик почвенно-растительного покрова дельты реки Волги в зависимости от изменения климата» – тема выступления А. Н. Бармина (Астраханский государственный университет). В докладе члена-корреспондента РАН В. А. Снытко (Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН) изложен историко-научный анализ исследования Прикаспия в 1930-е годы на примере Нижне-Волжской экспедиции Академии наук СССР.

Специальное заседание было посвящено изучению путей достижения устойчивого развития территорий. Так в докладе академика В. Ф. Логинова, М. И. Струка и В. С. Хомича (Институт природопользования НАН Беларусь) были рассмотрены проблемы устойчивого территориального развития Беларусь. Член-корреспондент РАН А. А. Чибилев с соавторами (Институт степи УрО РАН) в своем докладе охарактеризовали бассейн р. Урал как трансграничный регион и изложили проблемы его устойчивого развития. Доклад члена-корреспондента РАН Б. А. Воронова (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН) был посвящен вопросам экологической политики для обеспечения устойчивого развития территории (на примере Дальнего Востока). «Географические векторы устойчивого развития Сибири» – тема доклада Л. А. Безрукова, Л. М. Корытного и В. М. Плюснина (Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН). Особенности устойчивого развития горных регионов в условиях трансграничности на примере Алтая показаны в докладе Ю. И. Винокурова и Б. А. Краснояровой (Институт водных и экологических проблем СО РАН).

В целом на Сессии обсуждался широкий спектр физико-, экономико- и социогеографических проблем Каспийского моря, а также устойчивого развития территорий разных географических масштабов (регионального и локального) на евразийском пространстве.

В ходе сессии азербайджанские географы организовали полевые экскурсии на северо-восточный склон Большого Кавказа и Азербайджанское побережье Каспийского моря.

*P. М. Мамедов,  
В. А. Снытко,  
В. С. Хомич*

***К 80-летию члена-корреспондента  
Анатолия Викторовича Кудельского***

***Анатолий Викторович  
Кудельский***

член-корреспондент,  
 доктор геолого-минералогических наук,  
 профессор,  
 Лауреат Государственной премии,  
 заведующий лабораторией  
 гидрогеологии и гидроэкологии  
 Института природопользования  
 НАН Беларусь

***С юбилеем Вас!***

16 сентября 2014 г. исполнилось 80 лет со дня рождения члена-корреспондента, доктора геолого-минералогических наук, профессора А. В. Кудельского – ведущего белорусского гидрогеолога, крупного специалиста в области региональной и нефтегазовой гидрогеологии, геохимии подземных вод и гидроэкологии.

А. В. Кудельский родился в с. Мало-Софievка Днепропетровской области Украины. В 1958 г. он окончил Днепропетровский горный институт по специальности горный инженер-гидрогеолог и в течение 10 лет работал в Южно-Каракумской гидрогеологической экспедиции в Туркменистане по программе гидрогеологических съемок масштабов 1:200 000 и 1:100 000. По результатам съемочных и геологоразведочных работ им были открыты крупные месторождения пресных подземных вод в межгорных долинах рек Сумбар, Чандыр и Аджи-дере, установлены высокие перспективы нефтегазоносности горноскладчатых сооружений Западного Копет-Дага, открыты уникальные подземные воды с высочайшими концентрациями йода.

Одновременно с ведением полевых экспедиционных исследований А. В. Кудельский занимается проблемами теоретической гидрогеологии, геохимии природных вод и газов, формирования минеральных и термальных вод. Окончив заочную аспирантуру Московского геологоразведочного института в 1966 г. А. В. Кудельский успешно защищает кандидатскую диссертацию «Гидрогеология Западного Копет-Дага», выполненную под руководством крупнейшего гидрогеолога профессора А. М. Овчинникова.

С 1968 г. творческий и жизненный путь Анатолия Викторовича неразрывно связан с Беларусью. По приглашению академиков К. И. Лукашева и Г. В. Богомолова он переезжает в Минск,



где проходит по конкурсу на должность старшего научного сотрудника в Лабораторию геохимических проблем АН БССР. После ее преобразования в 1971 г. в Институт геохимии и геофизики АН БССР А. В. Кудельский работает ученым секретарем института, а с 1974 г. – заведующим лабораторией геохимии и гидрогеохимии нефтегазоносных формаций. Вместе с сотрудниками лаборатории (А. А. Махнач, В. М. Шиманович и др.) он разрабатывает методологические основы гидрогеологического прогнозирования нефтегазоносности локальных структур, предлагает комплекс оценочных критериев, часть из которых прочно входит в практику нефтепоисковых работ.

В 1974 г. А. В. Кудельский совместно с К. И. Лукашевым публикует книгу «Образование и миграция нефти (термобарические аспекты)», которая открыла новое направление в теории нефтегазообразования. В 1976 г. им публикуется монографическое исследование «Гидрогеология, гидрогеохимия йода», в котором охарактеризовано распределение йода в природных объектах либо и гидросферах, описаны закономерности формирования йодсодержащих вод и рассолов, разработаны методики региональной оценки промышленной йодоносности подземных вод и использования водорасторенного йода в качестве показателя нефтегазоносности геологических структур.

Концептуальные геолого-геохимические позиции, очерченные А. В. Кудельским в опубликованных книгах, составили теоретическую основу докторской диссертации «Основные закономерности формирования и распространения йодных вод», которую он успешно защитил в 1977 г. в Ленинградском горном институте.

В 1986 г. А. В. Кудельский возглавил лабораторию гидрогеологии Института геохимии и геофизики АН БССР. В период 1991–1993 гг., работая заместителем директора по научной работе Белорусского научно-исследовательского центра «Экология», активно участвовал в формировании его в составе Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

С 2008 г. он возглавляет лабораторию гидрогеологии и гидроэкологии Института природопользования НАН Беларуси.

А. В. Кудельский – ученый-гидрогеолог чрезвычайно широкого диапазона. Он активно занимается изучением региональной гидрогеологии Беларуси, геохимии и динамики подземных вод и рассолов, минеральных вод, вопросами нефтяной гидрогеологии и газового режима нефтегазоносных бассейнов. Им разработаны геофлюидодинамическая концепция формирования месторождений нефтяных углеводородов и широкий перечень проблем гидроэкологии.

Под руководством А. В. Кудельского и при его непосредственном участии созданы крупные монографические обобщения, не утратившие своего значения до настоящего времени: «Геохимия, формирование и распространение йоднобромных вод» (Минск, 1970; совместно с М. Ф. Козловым); «Гидрогеология горных стран, смежных прогибов и впадин» (Киев, 1972; с В. В. Колодицем); «Образование и миграция нефти (термобарические аспекты)» (Минск, 1974; с К. И. Лукашевым); «Гидрогеология, гидрохимия йода» (Минск, 1976); «Газовый режим Припятского прогиба» (Минск, 1982; с В. М. Бураком); «Гидрогеология и рассолы Припятского нефтегазоносного бассейна» (Минск, 1985; с В. М. Шимановичем и А. А. Махначом); «Минеральные воды Беларуси» (Минск, 1994; с М. Г. Ясовеевым); «Геофлюидодинамика и нефтегазообразование» (Минск, 1997; с Р. Г. Гарецким и Р. Е. Айзбергом); «Подземные воды Беларуси» (Минск, 1998; с В. И. Пашкевичем и М. Г. Ясовеевым).

В 1996 г. А. В. Кудельский избран членом-корреспондентом Академии наук Беларуси, а в 1998 г. вместе с представителями геологической службы и санаторно-курортного комитета страны стал лауреатом Государственной премии Республики Беларусь за работу «Открытие и народнохозяйственное использование месторождений

минеральных вод в Республике Беларусь (научные исследования, поисково-разведочные работы, медико-биологическое и питьевое освоение)». За исследования проблемы нефтегазоносности верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири ему, вместе с группой белорусских и российских ученых, в 2004 г. присуждена Межакадемическая (НАН Беларуси и СО РАН) премия имени академика В. А. Коптюга. В 2010 г. А. В. Кудельский награжден Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь.

С первых дней после катастрофы на Чернобыльской АЭС А. В. Кудельский вместе с сотрудниками возглавляемой им лаборатории активно занимался проблемами радиационного состояния подземных и поверхностных вод, миграции радионуклидов на загрязненных землях юго-восточной Беларуси. Он являлся научным руководителем и координатором белорусской части ряда международных проектов по данной проблематике. Под его руководством в 2009 г. подготовлен раздел «Подземные воды» ОВОС Белорусской АЭС. В 2012 г. результаты гидрогеологических исследований района строительства БелАЭС опубликованы в монографии «Подземные воды Островецкого региона Беларуси» и продолжают проводиться в рамках Государственной программы «Научное сопровождение развития атомной энергетики в Республике Беларусь на 2009–2010 гг. и на период до 2020 года».

Анатолий Викторович уделяет огромное внимание изучению геохимии и геоэкологии пресных подземных вод – основного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения Беларуси. Под его руководством разработана долговременная стратегия сохранения водных ресурсов и их высокого качества, впервые созданы гидрохимические карты четвертичных и дочетвертичных отложений Беларуси.

Большое теоретическое и практическое значение имеют выполненные А. В. Кудельским исследования проблемы сланцевого газа. Им установлена пространственная и структурно-геологическая связь так называемых газосланцевых месторождений с нефтегазоносными бассейнами, обладающими с высоким теплоэнергетическим потенциалом. Отсюда сделан важнейший практический вывод о бесперспективности поисков «сланцевого газа» в осадочных бассейнах с низкой тепловой активностью.

А. В. Кудельский много времени уделяет подготовке научных кадров. На протяжении ряда лет он читал лекции в Гомельском и Белорусском государственных университетах, в Белорусском национальном техническом университете, в других высших учебных заведениях. Им подго-

товлено 11 кандидатов наук. Он является членом редколлегии белорусских научных журналов «Літасфера», «Весці НАН Беларусі», сер. хім. навук, эстонского журнала «Oil Shale».

А. В. Кудельский автор 22 монографий и более 400 научных статей. Его перу принадлежит ряд талантливых научно-популярных книг («Новеллы о воде», 1973 г., «Рассказы о воде: белорусские криницы», 1981 г., «Вода жизни нашей», 1992 г.), множество статей в жанре научной публицистики.

Анатолия Викторовича отличают широкая эрудиция и большая увлеченность наукой, огромное трудолюбие и замечательный оптимизм, мужество в преодолении невзгод, неизменная доброжелательность и внимание к людям.

Друзья и коллеги сердечно поздравляют Анатолия Викторовича Кудельского с 80-летним юбилеем, желают ему доброго здоровья и дальнейших творческих достижений.

*Коллеги и друзья*

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

---

В сборнике публикуются статьи теоретического, методического и научно-технического характера, содержащие оригинальный материал исследований автора(ов), учитывающий современную литературу и ранее нигде не опубликованный.

В статье должно быть освещено современное состояние вопроса, описание методики исследований и обсуждение результатов.

Редакция не принимает в один выпуск сборника более двух статей с участием одного автора.

Материал дается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- инициалы и фамилии авторов;
- название;
- аннотация — короткая информация об основных идеях и результатах (5–6 строк);
- основной текст;
- список литературы;
- название организации;
- список подрисуночных подписей;
- рефераты на русском и английском языках (примерно по 1/2 страницы каждый) с полным названием подаваемой публикации, именами, отчествами и фамилиями авторов на соответствующих языках.

Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи – не более 40 000 знаков, количество иллюстраций – не более 3–4.

Правила оформления:

- поля – верхнее и нижнее по 2,5 см, левое и правое по 2 см;
- текст – шрифт Arial размером 10 пунктов, межстрочный интервал – полуторный (страницы не нумеровать!);
- таблицы – шрифт Arial размером 9 пунктов; название **жирным**; в числах целая и дробная часть должны быть разделены десятичной запятой, а не точкой;
- формулы выполняются с помощью редактора формул Word Equation;
- рисунки – четкие, не размытые, надписи не должны быть сделаны «от руки», формат – не более А4. Рисунки, выполненные в одном из графических форматов, представляются отдельным файлом (не внедренным в Word). Разрешение для цветных рисунков – 300 dpi, графический формат – tif. Подпись к рисунку должна быть отдельно от рисунка – шрифт Arial 9 пунктов **жирный** по центру; условные обозначения на рисунке нумеруются цифрами, разъяснение которых обязательно дается под подписью к рисунку;
- список литературы – в алфавитном порядке и нумеруется. Номера ссылок по тексту приводятся в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. В списке должны быть указаны: книга – фамилия и инициалы автора, полное название, год издания; статья – фамилия и инициалы автора, название периодического издания, год, номера страниц.

Не допускается повторения одних и тех же данных в тексте, таблицах и на иллюстрациях.

В конце статьи указывается фамилию, имя, отчество (полностью) автора, с которым редакция будет решать возникшие вопросы по статье, его адрес, телефон, факс, E-mail.

Для авторов из других организаций необходимо представить сопроводительное письмо на имя редакколегии сборника «Природопользования» на фирменном бланке организации.

Рецензирование, научное и литературное редактирование статей организует редакция. Доработанный после замечаний рецензента вариант статьи необходимо возвратить в редакцию вместе с пояснительным письмом о проделанной работе для последующего редактирования. Исправленный вариант статьи с редакционными пометками и приложенным к нему электронным вариантом передаются для окончательной верстки.

Авторское вознаграждение за издание статей в сборнике не начисляется.

Авторам и соавторам передается по экземпляру сборника.

Адрес редакции сборника «Природопользование»:

220114 Минск, ул. Ф. Скорины, 10.

Факс: +375(17) 267-24-13. Телефон: +375 (17 ) 268-84-55.

Веб-сайт: <http://ecology.basnet.by/sbornik.html>.

E-mail: [eco@ecology.basnet.by](mailto:eco@ecology.basnet.by).

Научное издание  
**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Сборник научных трудов  
Выпуск 26

Редактор *Г. В. Малахова*  
Компьютерная верстка *Т. Н. Козловская, Н. В. Данькова*  
*Переводчик М. Ю. Козловская*

---

Подписано в печать 04.12. 2014. Формат 60×90/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 28,83. Уч.-изд. л. 21,18.  
Тираж 110 экз. Заказ № 1447.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное предприятие «СтройМедиаПроект».  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/43 от 03.10.2013,  
№ 2/42 от 13.02.2014.  
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.