

Природо- пользование

ВЫПУСК 21



2012

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 21



МИНСК

«Минсктиппроект»

2012

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
член-корреспондент, 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 техн. наук *П. Л. Фалюшин*, 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

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Карабанов А. К., Айзберг Р. Е., Гарецкий Р. Г., Кудельский А. В., Лиштван И. И. Логинов В. Ф., Матвеев А. В.	Актуальные проблемы исследований в области наук о Земле и освоения минерально-сырьевых ресурсов	5
Логинов В. Ф., Бровка Ю. А.	Пространственно-временные особенности формирования экстремальных аномалий температуры и осадков и их проявления в изменении урожайности основных сельскохозяйственных культур на территории Беларуси	20
Микуцкий В. С.	Анализ структуры динамики климатических процессов с помощью временной развертки	31
Коляда В. В.	Связь климатических показателей с географическими координатами метеостанций в условиях Беларуси	40
Камышенко Г. А.	Оценка пространственно-временной однородности рядов атмосферных осадков на территории Беларуси	52
Бровка Ю. А.	Пространственная изменчивость уровня урожайности сельскохозяйственных культур при аномальных погодных условиях	62
Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А., Лосич В. В., Иваненко А. П.	Концентрации радона в почвенном воздухе на смежных площадях Белорусской антеклизы и Припятского прогиба (Беларусь)	68
Какарека С. В., Ашурко Ю. Г.	Анализ и оценка источников выбросов формальдегида в атмосферный воздух на территории Беларуси	75
Круковская О. Ю., Какарека С. В.	Подходы к количественной оценке ущерба от воздействия оксидов азота на здоровье населения	83
Кадацкая О. В., Санец Е. В., Овчарова Е. П.	Структурирование данных по оценке водных ресурсов Беларуси в соответствии с международными требованиями	90
Лукашев О. В., Творонович-Севрук Д. Л., Лукашева Н. Г., Жуковская Н. В., Савченко С. В.	Перенос металлов со взвешенным веществом в водах реки Птич	99
Матвеев А. В., Бордон В. Е., Нечипоренко Л. А.	Основные ассоциации микроэлементов в четвертичных отложениях Беларуси	108
Козыренко М. И., Кухарчик Т. И.	Трансформация почв в зоне воздействия промышленного предприятия (на примере лакокрасочного производства)	115
Хомич В. С., Городецкий Д. Ю., Овчарова Е. П., Рыжиков В. С., Савченко С. В., Бокая Г. М., Курман П. В.	Золоотвалы ТЭЦ как потенциальные источники загрязнения окружающей среды	124
Кухарчик Т. И., Лапко Т. Л.	Анализ пространственного распределения полихлорированных бифенилов в составе электрооборудования на территории Беларуси	136
Кравчук Л. А., Судник А. В., Быкова Н. К., Пац А. Ч.	Структура природно-растительных комплексов в городах Беларуси	145
Ракович В. А., Ратникова О. Н.	Восстановление нарушенного мелиорацией лесного болота Червенское (Галое)	155
Флерко Т. Г., Шершнев О. В.	Ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений Гомельской области и химическое загрязнение вод колодцев	166
Струк М. И., Живнач С. Г.	Экологическое состояние ландшафтов пригородной территории Минска	174
Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В., Зданович П. А.	Особенности формирования вещественного состава сапропеля органического типа в озерах различных регионов Беларуси	183
Яновский А. А.	Методические предпосылки дистанционного картографирования деградированных торфяных почв Беларуси	192
Поливко Л. А.	О возможности использования геологической среды для решения проблем обращения с радиоактивными отходами в Беларуси	199

Гаврильчик А. П., Лис Л. С., Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И., Осипов А. В., Мультан С. Т., Калилец Л. П., Шевченко Н. В.	Распределение торфяных ресурсов Гомельской области по направлениям использования с учетом новых задач их освоения	206
Унукович А. В., Зуй В. И., Цалко П. Б.	Экономическая эффективность использования геотермальных ресурсов на территории Беларуси	215
Лис Л. С., Кот Н. А., Кунцевич В. Б.	О необходимых дополнениях к кадастровому справочнику «Торфяной фонд Белорусской ССР»	225

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Монич Г. С., Глухова Н. С., Алейникова В. Н.	Отходы целлюлозно-бумажной промышленности и утилизация их в земледелии. Часть I.	229
Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Монич Г. С., Глухова Н. С., Алейникова В. Н.	Отходы целлюлозно-бумажной промышленности и утилизация их в земледелии. Часть II.	237
Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Немкович А. С., Бровка Г. П.	Технологические показатели эффективности процесса экстракции гуминовых веществ при разных соотношениях торфа и экстрагента	244
Красноберская О. Г., Соколов Г.А., Симакина И. В., Сосновская Е. Н., Стельмах Е. С.	Сравнительная оценка биологической активности гуминовых веществ торфа, выделенных разными способами	249
Кашинская Т. Я., Курзо Б. В., Шевченко Н. В.	Получение гуминовых препаратов на основе торфяного и сапропелевого сырья	256
Марыганова В. В., Бамбалов Н. Н., Стригуцкий В. П., Пармон С. В.	Особенности молекулярной структуры гуминовых кислот в зависимости от глубины залегания торфа	263
Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф., Макарова Н. Л., Жмакова Н. А., Пироговская Г. В., Русалович А. М.	Комплексные гуматсодержащие микроудобрения МАГ-рапс и МАГ-кукуруза и эффективность их использования в растениеводстве	272
Коврик С. И., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.	Медь-цинк микроэлементное гуминовое удобрение	278
Цвирко Л. Ю., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.	Влияние гидродинамической кавитации на выход водорасстворимых веществ из торфа	284
Цыганов А. Р., Самсонова А. С., Томсон А. Э., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Хрипович А. А., Пехтерева В. С.	Новый композиционный материал на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов и эффективность его применения для рекультивации нефтезагрязненных земель	288
Томсон А. Э., Гончарова И. А., Соколова Т. В., Балюта А. А., Иконникова Н. В., Сосновская Н. Е., Хрипович А. А., Пехтерева В. С.	Изучение эффективности использования торфяных сорбентов влаги для защиты материалов от плесневого поражения	294
Фалюшин П. Л., Лиштван И. И., Мулярчик В. В., Дударчик В. М., Ницевич А. А., Нашкевич И. С., Ануфриева Е. В., Булгакова Н. А.	Утилизация углеводородсодержащих отходов пиролизом их смеси с твердыми горючими ископаемыми	299
Фалюшин П. Л., Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В., Смолячкова Е. А.	Термоустойчивость бурых углей Лельчицкого месторождения	305
Царюк Т. Я., Стригуцкий В. П., Шапорева Л. Д., Навоша Ю. Ю., Фалюшина И. П., Дребенкова И. В.	Термоокислительная стабильность углеводородных канатных смазок	312
	Хроника	
	А. А. Хомичу – 80 лет	319

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 553.04 (476)

**А. К. Карабанов, Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, А. В. Кудельский,
И. И. Лиштван, В. Ф. Логинов, А. В. Матвеев**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ И ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

Проанализированы существующие в стране проблемы в области географии, геоэкологии, геологии, использования минерально-сырьевых ресурсов. Рассмотрены основные пути их решения, связанные с выполнением обязательств по международным природоохранным конвенциям и необходимостью более углубленного изучения недр и рационального освоения месторождений полезных ископаемых, что является одним из приоритетных направлений развития экономики государства. Предложен комплекс научных и научно-организационных мероприятий, реализация которых будет способствовать повышению эффективности геологоразведочной отрасли и развития науки о Земле.

Актуальные проблемы исследований в области наук о Земле отражены в Перечне приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. Исследования по приоритетным направлениям осуществляются в рамках Государственной комплексной целевой научно-технической программы «Природные ресурсы и экология». Однако ряд проблем в области наук о Земле требует более подробного рассмотрения и принятия решений научно-организационного характера.

Актуальные проблемы исследований в области географии, геоэкологии и рационального природопользования

В настоящее время в области географии, геоэкологии и рационального природопользования наиболее актуальными являются исследования по разработке научных основ природопользования и охраны окружающей среды; оценке, прогнозированию и оптимизации природных и антропогенных воздействий на природные комплексы и население Беларуси; созданию ресурсосберегающих и эколого-безопасных технологий добычи и переработки минерального сырья; широкому внедрению ГИС-технологий и созданию электронных банков данных, научному сопровождению выполнения обязательств Республики Беларусь по 6 международным природоохранным конвенциям: Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха, Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях, Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Стокгольмской конвенции по СОЗ, Конвенции ООН по

борьбе с опустыниванием земель, Конвенции о биологическом разнообразии.

Учитывая активно обсуждаемую ныне проблему глобального изменения климата и адаптации отраслей хозяйства Беларусь к изменяющимся климатическим условиям, на этой проблеме целесообразно остановиться несколько подробнее. По данным многолетних наблюдений температуры воздуха и осадков за последнее столетие установлены два крупных потепления: первое, наблюдавшееся в 1910–1939 гг., и начавшееся в конце 1980-х годов текущее более мощное потепление. Основная дискуссия ныне происходит в отношении оценки вклада естественных и антропогенных факторов в потепление климата, возможностей предотвращения неблагоприятных изменений климата в результате снижения выбросов парниковых газов и продажи квот на выбросы парниковых газов.

Вопреки распространенному мнению об определяющей роли выбросов парниковых газов как главной причины глобального потепления выполненные в НАН Беларусь исследования показали большую неопределенность оценок многочисленных естественных и антропогенных факторов, влияющих на изменения климата и, следовательно, преувеличение вклада связанных с ростом промышленного производства выбросов парниковых газов в глобальное потепление.

Несмотря на большое теоретическое и прикладное значение проблемы глобального и регионального изменения климата, исследования по этому направлению в Беларусь проводятся весьма малочисленной группой ученых НАН Беларусь (Институт природопользования) и БГУ

(кафедра гидрометеорологии), в то время как в большинстве стран СНГ имеются самостоятельные геофизические и гидрометеорологические институты, а в России работает почти два десятка профильных НИИ и несколько десятков кафедр в ВУЗах. Фундаментальные исследования в области климатологии и гидрометеорологии должны быть расширены и углублены, а в перспективе могли бы стать одним из направлений нового Института в составе Национальной академии наук.

Актуальные проблемы исследований в области геологических и горных наук

Среди важнейших проблем фундаментальных исследований в области геологических наук выделяется проблема выявления закономерностей глубинного строения, тектоники и геодинамики земной коры и верхней мантии территории Беларуси как научной основы прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых. Решение этой научной проблемы предполагает комплексное изучение геологических структур фундамента и платформенного чехла. Научными задачами являются: разработка геодинамических моделей строения литосферы, фундамента и платформенного чехла, геологических объектов разного уровня, выявление закономерностей формирования и размещения месторождений полезных ископаемых, выявление геодинамических факторов, обуславливающих тектоническую активность разрывных нарушений, характер новых и современных движений земной коры, проявление опасных геологических процессов.

Результаты названных фундаментальных исследований имеют практическое значение при принятии управленческих решений в сфере природопользования, выборе мест строительства особо ответственных инженерных сооружений, проведении геолого-поисковых работ, определении критериев поиска месторождений полезных ископаемых.

К числу других актуальных проблем геологических наук относятся: корреляция основных геологических формаций фундамента и платформенного чехла на основе детальных палеонтологических и литолого-петрографических исследований, разработка современной методологии комплексного изучения недр, проведения геологической съемки и геологоразведочных работ; разработка научно-методических подходов эколого-экономической оценки природно-ресурсного потенциала Беларуси и ее регионов.

Особого внимания заслуживает проблема соотношения объемов исследований по региональному изучению геологического строения недр и геологоразведочных работ.

Освоение ресурсов недр Беларуси является одним из приоритетных направлений развития экономики страны, в связи с чем проблемы исследований в области геологического изучения недр в настоящее время приобрели особую актуальность.

Геологоразведочное производство – высоконаукоемкая отрасль. Методологическая основа изучения недр – научно обоснованные представления о строении земной коры, стратиграфии, литолого-петрографической, геохимической и геофизической характеристиках геологических объектов. Поэтому фундаментальная наука – неотъемлемая часть научного сопровождения геологоразведочных работ.

В последние годы возникла проблема приоритетности проведения и соотношения объемов различных этапов изучения недр: работ регионального этапа (опережающие геофизические исследования недр, комплексная средне- и крупномасштабная геологическая съемка, поисково-разведочные работы), с одной стороны, предварительной и детальной разведки выявленных месторождений – с другой.

В структуре работ по изучению недр последние 15–20 лет доминируют работы по предварительной и детальной разведке открытых ранее месторождений с целью обеспечения приступа промышленных категорий запасов полезных ископаемых, что ускоряет промышленное освоение месторождений. Однако при этом сужается потенциал открытия новых месторождений, в том числе новых видов полезных ископаемых.

Так, доля финансирования региональных работ в общем объеме ассигнований Государственной программы геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Беларуси на 2006–2010 гг. и на период до 2020 г. составляла всего 4 %, а в Государственной программе на 2011–2015 гг. снизилась до 3,2 %. В то время большая половина средств (52,6 %) направлена на детальную разведку месторождений, а проведение средне- и крупномасштабной геологической съемки фактически откладывается на неопределенное время [7].

Практически полное прекращение целенаправленного проведения геолого-съемочных работ неизбежно приводит к ликвидации так называемого поискового задела. Именно поэтому в настоящее время геологическое изучение недр в основном сводится только к разведке ранее выявленных месторождений. Считаем, что в ближайшее время необходимо разработать перспективный план проведения геолого-съемочных работ на средне- и долгосрочную перспективу, который должен быть положен в основу каждой последующей пятилетней программы геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы.

В области горных наук важнейшей проблемой является разработка научных основ создания новых высокоеффективных современных технологий добычи и переработки выявленных на территории страны полезных ископаемых, а также совершенствование уже используемых в горнодобывающих отраслях технологий добычи и переработки таких видов минерального сырья, как калийные соли, нефть, стройматериалы и др.

Проблема кадров

Общая численность работников геологической отрасли составляет более 2,3 тыс. человек, из которых на РУП «Белгеология» приходится 1,8 тыс. человек, на ГП «БелНИГРИ» (с филиалами «БЕЛГЕО» и «Космоаэрогеология») – около 500 человек, на ГП «Белгосгеоцентр» 25 человек. Еще более 1 тыс. специалистов в области региональной геологии, инженерной геологии, гидро-геологии, технологий добычи и переработки углеводородов, калийных солей, стройматериалов работают в отраслевых научно-исследовательских и проектных институтах концерна «Белнефтехим», Минстроярхитектуры, Минприроды (НИИ ОАО «Белгорхимпром», «БелНИПИнефть», НИИ стройматериалов, УП «Геосервис» и др.). Около 30 преподавателей в названных областях – сотрудники геологических кафедр ВУЗов. В Институте природопользования НАН Беларуси геологическими исследованиями занято около 20 человек, в том числе 7 докторов и 6 кандидатов геолого-минералогических наук.

Подготовку кадров геологического профиля осуществляют: Белорусский и Гомельский госуниверситеты – по специальности «геология и разведка месторождений полезных ископаемых» с годовым выпуском около 20 инженеров-геологов каждый, Белорусский национальный технический университет по специальности «горный инженер», а также Мозырское ГПТУ № 84 геологии – специалистов для бурения скважин при производстве геологоразведочных работ.

Но выпускники не стремятся идти ни в науку, ни в геологоразведочное производство. Главная причина этого – падение престижа профессии геолога, которая в немалой степени обусловлена низким уровнем заработной платы, отличающейся в разы от зарплат молодых специалистов на предприятиях, которые разрабатывают месторождения и продают добывое минеральное сырье.

Остро стоит вопрос и с научными кадрами высшей квалификации – кандидатами и докторами наук. Научным обеспечением отрасли занимается более 450 сотрудников ГП «БелНИГРИ», из них которых 39 имеют степень кандидата и 5 – докторов наук, а также 20 сотрудников Института природопользования НАН Беларуси, включая 6 кандидатов и 7 докторов геолого-минералогических наук. Всего в Беларуси сегодня среди работающих – 19 докторов и 60 кандидатов геолого-минералогических наук. Доктора наук работают в шести организациях, кандидаты – в семнадцати.

Средний возраст докторов составляет 65 лет, кандидатов – 55 лет. Такая ситуация близка к катастрофической. Произошло резкое снижение притока молодежи в науку, стало некому защищать кандидатские диссертации. Сходная тенденция отмечается и в других отраслях наук о Земле. Например, в стране насчитывается

только 14 докторов географических наук, из них 10 – пенсионного возраста. Необходимо принятие мер по укреплению престижа профессии ученого, расширению специальностей подготовки геологов, географов и горных инженеров в ВУЗах Беларуси, целевого обучения студентов в ведущих зарубежных университетах. Важное значение имеет создание условий для сохранения оставшихся и развитию новых научных школ в области наук о Земле, особенно в Национальной академии наук. Иначе мы неизбежно попадем в зависимость от зарубежных специалистов.

Проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов разрабатываемых месторождений полезных ископаемых

Минерально-сырьевые ресурсы представляют собой сырьевую основу многих отраслей промышленности Беларуси. Вопреки распространенному мнению считаем, что Беларусь нельзя относить к странам, бедным полезными ископаемыми. Белорусскими геологами открыты крупные калийносный, нефтеносный и сланценосный бассейны, около 4 тыс. месторождений минерально-сырья и более 9 тыс. месторождений торфа и сапропелей [6].

Суммарный вклад продукции горнодобывающих предприятий, строительных материалов, подземных вод, используемых для хозяйственного-питьевого водоснабжения, а также химической, нефтехимической и других отраслей промышленности, перерабатывающих минеральное сырье, услуг по проектированию и строительству горнодобывающих предприятий за рубежом ежегодно достигает порядка 10–12 % ВВП Беларуси, величина которого в 2011 г. составила более 55 млрд долл. По предварительной данным, потенциальная стоимость только разведенных запасов промышленных категорий А+В+С₁ сегодня оценивается более 300 млрд долл., в том числе: калийных солей – более 25 млрд долл. (7,7 млрд т сырых солей или более 1,28 млрд т в пересчете на K₂O), нефти – более 18 млрд (56 млн т), строительного камня – более 14 млрд (275 млн т), торфа – более 7 млрд (163 млн т), глин – более 6 млрд (250 млн т), мела и мергельно-меловых пород – 4 млрд (134 млн т). Суммарная добавленная стоимость минерального сырья, добывого в 2010 г. составила 6,4 млрд долл.

Особое место в экономике Беларуси длительное время занимают такие полезные ископаемые, как калийные и каменная соли, нефть, торф, сапропель, подземные воды и строительное минеральное сырье (песчано-гравийный материал, строительные пески, цементное сырье, строительный камень). Основная общая задача освоения этих полезных ископаемых – наращивание промышленных запасов для обеспечения потребности действующих и создания новых производственных мощностей и анализ возможных экологических последствий разработки месторож-

дений. При этом следует отметить, что наиболее благоприятная ситуация сложилась с минеральными строительными материалами, разведанные запасы которых по промышленным категориям обеспечивают работу соответствующей отрасли народного хозяйства на длительную перспективу. Некоторая детализация проблем по изучению и освоению других видов перечисленных выше полезных ископаемых приведена ниже.

Калийные соли. Проблема оценки ресурсов Припятского калиевоносного бассейна к настоящему времени в основном решена. Более 60 лет разрабатывается Старобинское месторождение, разведанные запасы сырьих солей составляют 7,7 млрд т, что соответствует 1,282 млрд т оксида калия (K_2O).

Накопленная добыча солей в пересчете на 100 % содержание K_2O за время эксплуатации месторождения составляет около 200 млн т, максимальный годовой объем добычи 6 млн т был достигнут в конце 1980-х годов. Производство калийных удобрений в 2010 г. составило 5,2 млн т, из которых 4,1 млн т составил экспорт на сумму 2,2 млрд долл.

Однако, несмотря на значительные общие ресурсы калийных солей Старобинского месторождения, обеспеченность запасами отдельных рудников РУП «ПО Беларуськалий» крайне неравномерная. Для стабильного функционирования горнодобывающих предприятий на длительную перспективу требуется детальная разведка Октябрьского месторождения и переоценка Петровского месторождения калийных солей. Это позволит поддерживать и даже нарастить объемы добычи калийных солей и производства калийных удобрений. При благоприятной конъюнктуре рынка производство калийных удобрений может быть увеличено до 10–11 млн т в год и более.

Важной научной задачей остается совершенствование существующих и освоение новых технологий добычи и переработки калийных руд, в том числе калийно-магниевых (карналлитов). В рамках ГНТП «Экологическая безопасность» разработана технология добычи и переработки карналлита методом подземного растворения и технологии обогащения карналлитового рассола для производства бишофитового раствора и кристаллического бишофита. Установлена возможность использования карналлитового раствора и продуктов его обогащения в качестве новых калийно-магниевых удобрений, а также для производства буровой промывочной жидкости, магнезиальных цементов.

Полученные результаты послужили основой для принятия решения о целесообразности проведения геологоразведочных работ по подготовке к промышленному освоению залежей карналлитов на территории Припятского прогиба. Внедрение технологии добычи карналлитов методом подземного растворения планируется после завершения детальной разведки Любанского

участка Старобинского месторождения калийных солей.

Особую актуальность приобретает экологическая проблема утилизации отходов (хлорида натрия, глинисто-солевых шламов), общее количество которых приближается к 800 млн т. Эти отходы представляют собой крупное техногенное месторождение минерального сырья для производства каустической и кальцинированной соды, гранулированных глиносодержащих калийных удобрений, едкого калия (каустического поташа), извлечения редкоземельных металлов. В решении этих проблем принимают активное участие БелНИГРИ Минприроды, Институт общей и неорганической химии и другие организации НАН Беларуси.

Каменная соль. Беларусь располагает практически неограниченными ресурсами каменной соли. Общая добыча соли составляет более 0,8 млн. т в год, экспортные поставки – 300 тыс. т пищевой соли и 350 тыс. т технической соли в год. Разведанные запасы каменной соли по Старобинскому, Давыдовскому и Мозырскому месторождениям превышают 21 млрд т и позволяют полностью обеспечить как внутренние потребности страны, так и поставки на экспорт. Предварительно разведано месторождение «Кустовницкий соляной купол» в Ельском районе Гомельской области, на базе которого планируется строительство содового завода.

Кроме разведенных месторождений выявлен ряд участков (Шестоковичский, Скрыгаловский, Комаровский, Октябрьский, Южно-Копаткевичский и Омельковщинский) с суммарными запасами более 28 млрд т.

Нефть. В настоящее время единственным в Беларуси нефтегазоносным бассейном является Припятский. На сегодняшний день установлено 77 месторождений нефти. В структуре начальных суммарных ресурсов нефти Припятского бассейна, составляющих 332 млн т, накопленная добыча к началу 2011 г. составила более 122 млн т, остаточные разведанные запасы по промышленным категориям A+B+C₁ – 56 млн т, по категории C₂ – 8 млн т, неразведанные ресурсы – около 150 млн т.

Прогноз основных показателей освоения ресурсов горючих ископаемых на 2011–2050 гг., составленный коллективом ведущих белорусских геологов, показал, что ежегодный прирост промышленных запасов нефти в ближайшие 15–20 лет будет только на 70 % восполнять объем добываемой нефти, поэтому добыча нефти будет снижаться с 1,68 млн т в 2011 г. до 1,56 млн т в 2015 г. и до 1 млн т в 2031 г. При современном уровне добычи разведанных запасов хватит на 35 лет, а с учетом их ежегодного прироста в результате геологоразведочных работ – до 60 лет.

Для обеспечения такого прироста необходимо продолжение геологоразведочных работ в Припятском прогибе на новых перспективных участ-

стках и на глубинах более 5 км [2, 6], а также продолжение исследований потенциальной нефтесносности Оршанской и Подлясско-Брестской впадин. Фундаментальное научное значение имеет проблема неорганического происхождения нефти, исследование которой может открыть новые перспективы поиска залежей углеводородов.

Основная проблема научного сопровождения нефтедобывающей промышленности заключается в том, что наиболее крупные месторождения уже вступили в завершающую стадию разработки, когда при высокой (68–86 %) степени выработки начальных запасов неуклонно нарастает обводненность, падают темпы отбора. Остаточные запасы переходят в категорию трудноизвлекаемых, которые уже составляют 43,4 % сырьевой базы РУП «Белоруснефть». В связи с этим необходимо решить проблему создания высокоеффективных технологий увеличения нефтеотдачи при разработке малых залежей, а также технологий освоения трудноизвлекаемых и высокообводненных залежей нефти.

Весьма актуальным является внедрение новых технологий добычи нефти и попутного газа, в том числе: гидравлический и солянокислотный разрыв пласта; бурение разветвленных скважин; горизонтальное, субгоризонтальное бурение; бурение боковых стволов; повышение нефтеотдачи пластов; новые технологии воздействия на пласт – электро-импульсное воздействие, вибро-сейсмическое воздействие, резонансно-волновое воздействие.

Значительную роль в номенклатуре технологий методов повышения нефтеотдачи пласта (ПНГП) играют физико-химические методы, которые основаны на применении химических реагентов, закачиваемых в нефтеносные пласти для наиболее полного извлечения из них нефти и вовлечения в разработку тупиковых и неохваченных вытеснением запасов.

К таким реагентам относятся нефтеотмывающие реагенты – ПАВ, кислоты, щелочи, органические растворители и их композиции, оказывающие влияние на физико-химические взаимодействия на границах раздела фаз порода – нефть – вода и реологию пластовых флюидов. Повышенная нефтеотмывающие свойства воды, фазовую проницаемость коллектора по нефти и текучесть последней, эти реагенты способствуют росту коэффициента нефтеотсынения.

Торф – полезное ископаемое, которое издавна добывают в Беларуси. В довоенный и послевоенный период ежегодный объем добычи торфа достигал 40 млн т. Торф – один из важных видов местных топливных ресурсов, доля которых наряду с возобновляемыми и альтернативными источниками энергии согласно Целевой программе, утвержденной постановлением Совета Министров №1680, к 2012 г. должна возрасти до 25 % в общем объеме производства тепловой и электрической энергии.

Ресурсы торфа на территории Беларуси в настоящее время оцениваются в 4 млрд т. Разрабатываются только 42 торфяных месторождения на площади 6,9 тыс. га с запасами 40,8 млн т, на которых ежегодно добывается 2,7–2,8 млн т торфа, из которого производится 1,1–1,2 млн т брикетов, а также более 30 тыс. т продукции сельскохозяйственного назначения (грунтов, компостов) и торфа верхового кипованного.

В 2009 г. использование топливного торфа составило 862,0 тыс. т у.т. Государственная программа «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г. предусматривает увеличение добычи торфа топливного до 1,4 млн т у.т. в 2015 г. В целях обеспечения потребности цементных заводов планируется увеличить производство брикетов в 2015 г. на 403 тыс. т или на 30,6 %.

Для обеспечения производства торфяной продукции в прогнозируемых объемах необходимо увеличить добычу торфа в 3–4 раза и довести ее до 10 млн т в 2020 г. Требуемое повышение объемов добычи торфа может быть осуществлено только за счет перераспределения торфяного фонда и увеличения промышленных запасов торфа до 1,1–1,2 млрд т.

Следует упомянуть о том, что многие крупные месторождения торфа ныне имеют статус особо охраняемых природных территорий. Поэтому проблема научного обоснования перераспределения торфяного фонда и выбора месторождений торфа для промышленной разработки должна решаться на компромиссной основе совместно с биологами Центра по биоресурсам НАН Беларуси и соответствующими подразделениями Минприроды.

В настоящее время Институт природопользования НАН Беларуси выполняет НИР по выявлению перспективных к разработке месторождений с учетом возможной организации производства как топливной, так и нетопливной продукции, в частности активированных углей, композиционных и строительных материалов, биологически активных регуляторов роста растений, жидких комплексных микроудобрений, мелиорантов, нефтесорбентов и других продуктов. Научно-исследовательские работы по этим направлениям прописаны в новой редакции ГП «Торф». К сожалению, Минэнерго и ГПО «Белтопгаз» до сих пор не обеспечили финансирование этих работ.

Сапропель. Геологоразведочные работы по поиску и оценке ресурсов озерных сапропелей и ведению Кадастра сапропелевых отложений озер с 1975 г. проводят специалисты Института природопользования НАН Беларуси и ряда проектных организаций. Получены данные о запасах и составе сапропелей более 660 озер. Выполнена детальная разведка сапропелей, залегающих под торфом, в пределах 70 торфяных месторождений. Из общего объема геологических ресурсов сапропеля в озерах

в 2,6 млрд м³ к настоящему времени разведано более 2 млрд м³, или 80 %. Балансовые запасы промышленных категорий детально разведенных месторождений сапропеля составили около 78 млн т. Необходимо расширение добычи и переработки этого сырья, которое может дать значительный экономический эффект.

Доломиты. В Витебской и Могилевской областях выявлено более 25 месторождений и проявлений доломита. Крупное месторождение «Руба» с разведенными запасами свыше 930 млн т разрабатывается ОАО «Доломит». Мощности действующего на базе месторождения завода полностью обеспечивают потребности республики, а также позволяют довести производство доломитовой муки до 7 млн т в год и более.

Перспективным направлением является получение из доломита кубовидного щебня. Для создания сырьевой базы производства кубовидного щебня необходимо проведение предварительной разведки на одном из месторождений доломита.

Силициты (трепель, опоки, диатомиты). Силициты используются в качестве добавок к цементу, кормовых добавок, средств для снижения радиоактивности растений, выращиваемых на загрязненных территориях, при производстве фильтров, удобрений, красок, изоляционных материалов, промышленных сорбентов.

Выявлено 5 месторождений силицитов (Дружба, Совна, Мурашкино, Перловское и Ивановское), к промышленному освоению подготовлено месторождение трепелов Стальное с запасами трепела около 30 млн т, которое может разрабатываться открытым способом.

В настоящее время получаемые из трепела добавки для производства цемента в Беларуси завозят с Фокинского месторождения Брянской области России. Запасы месторождения Стальное позволяют заместить экспорт трепела и обеспечить цементные заводы Беларуси активными минеральными добавками.

Подземные воды. По объемам ежегодного использования многократно превосходят массу всех вместе взятых других добываемых из недр в Республике Беларусь полезных ископаемых. Ресурсный потенциал хозяйственно-питьевого водоснабжения почти в 2 раза превышает потребности Беларуси. Балансовые запасы пресных подземных вод питьевого и хозяйственного назначения по состоянию на 2010 г. составляют более 7 млн м³/сут на 282 месторождениях (водозаборах), из которых эксплуатируется 183 месторождения, или 70 % от числа разведенных.

Эксплуатационными запасами пресных подземных вод для хозяйствственно-питьевого водоснабжения обеспечены 153 населенных пункта, включая 6 областных центров и 115 районных. Лишь в 2 городах (Минске и Гомеле) частично (до 30–40 %) используются поверхностные ис-

точники. Не обеспечены подземными водами 3 райцентра – Докшицы, Дубровно и Ивье, а также 32 городских поселка.

Проблема заключается в том, что качество вод во многих районах, крупных городах и населенных пунктах не соответствует гигиеническим стандартам из-за использования устаревших промышленных технологий обращения с токсичными отходами и загрязнения грунтовых вод в сельской местности нитратами. Для решения проблемы необходимо районировать территорию Беларуси по качеству подземных вод и на этой основе осуществить переоценку запасов подземных вод с учетом их соответствия стандартам качества, а также разработать и реализовать комплекс мероприятий по восстановлению природного качества питьевых вод.

Республика Беларусь обладает значительными разведенными запасами минеральных подземных вод – 59,2 тыс. м³/сут, 147 предприятиями эксплуатируется 128 месторождений минеральных вод из 228 разведенных.

Одна из проблем эффективного освоения ресурсов подземных вод – необходимость значительного роста объема производства и потребления бутилированной пресной и минеральной воды.

Учеными НАН Беларуси серьезно расширены видовое разнообразие и перспективы использования минеральных вод как в санаторно-курортной реабилитации населения, так и в лечебно-столовом бутилировании. К сожалению, можно констатировать отсутствие интереса со стороны заинтересованных учреждений к открывшимся инновационным возможностям.

Проблемы освоения перспективных видов полезных ископаемых

К группе перспективных для промышленного освоения видов полезных ископаемых относятся железные руды, гипс, бурье угли, горючие сланцы, природный газ, сланцевый газ, бериллиево-редкоземельные руды, уран, геотермальная энергия и некоторые другие [1, 6, 8]. В отношении этой группы полезных ископаемых требуется проведение комплекса геологоразведочных и научно-исследовательских работ по их изучению и подготовке к промышленному освоению.

Железные руды. На территории Беларуси установлено два железорудных месторождения: Оковское железистых кварцитов и Новоселковское ильменит-магнетитовых руд. На более изученном и подготовленном к разработке Оковском месторождении выделено 9 крутопадающих пластообразных рудных тел мощностью от 4,6 до 62,8 м, с содержанием железа общего 23,91 % и железа магнетитового 13,55 %. По трем из них запасы железной руды в недрах составили 140,8 млн т.

НАН Беларуси совместно с ОАО «Белгорхимпром» в 2009 г. подготовлен аванпроект «Ос-

воение железных руд Околовского месторождения Республики Беларусь», в котором дано обоснование возможности промышленного освоения Околовского месторождения шахтным способом с получением высококачественного магнетитового концентрата и металлизированных окатышей. Рентабельность может быть достигнута при строительстве 4 стволов шахт, объеме добычи порядка 4 млн т руды в год и производстве 625 тыс. т металлизированных окатышей в год (потребность в металлизированных окатышах БМЗ составляет 2 млн т в год). При этом уровень мировых цен на металлизированные окатыши должен быть не менее 600 долл. США за тонну. Общая сумма инвестиционных затрат на освоение Околовского месторождения и строительство горнообогатительного комбината составит около 1,6 млрд долл. без учета затрат на строительство жилищного и социально-культурно-бытового назначения.

Вследствие экономического кризиса цены на металлизированные окатыши значительно снизились и в 2010 г. составили для БМЗ 421 долл./т, что на 25 % ниже расчетной себестоимости производства металлизированных окатышей на проектируемом комбинате (около 530 долл./т).

Выполненный межведомственной рабочей группой Минпрома в 2010 г. многовариантный расчет экономических показателей промышленного освоения Околовского месторождения железных руд показал, что инвестиционный проект по освоению Околовского месторождения железных руд при рыночной цене реализации металлизированных окатышей в 2011 г. не окупаем.

Окупаемость проекта может быть достигнута при условии применения мер государственной поддержки либо при существенном росте мировых цен на окатыши. Кроме того, рентабельность может возрасти при положительном исходе оценочных работ Околовского месторождения на золото, предварительные ресурсы которого оцениваются 100 т.

Бурые угли. В Беларуси выявлены залежи двух видов бурых углей. Это близкие по своим характеристикам к торфу неогеновые бурые угли класса Б1 Житковичского, Бриневского и Тонежского месторождений и сходные с каменными углами верхнепалеозойские (карбоновые) бурые угли класса Б3 Лельчицкого месторождения.

Прогнозные ресурсы неогеновых бурых углей составляют около 1,5 млрд т; разведанные запасы – около 100 млн т. Средняя мощность угольных пластов 3–4 м, мощность вскрыши – от 21 до 81 м. Низшая рабочая теплота сгорания в зависимости от влажности углей и содержания в них золы составляет 1500–2000 ккал/кг сухого вещества. Житковичские угли непригодны для прямого сжигания без предварительной подготовки (сушки), для их использования необходима термохимическая переработка.

Прогнозные ресурсы бурых углей Лельчицкого месторождения составляют 250 млн т, предварительно разведанные – около 86 млн т.

Ученые Института природопользования предлагают освоение месторождений бурых углей провести в 2 этапа: на первом этапе до 2013 г. осуществить строительство комбината для добычи и термохимической переработки бурых углей на базе Житковичского месторождения с годовой добычей 700 тыс. т открытым способом с получением твердых, жидких или газообразных энергоносителей (технология опробована в Институте природопользования НАН Беларуси на установке по пиролизу бурых углей класса Б1 и их смесей с торфом, определены оптимальные режимы и условия его проведения). Нетопливное использование угля предполагает получение стимуляторов роста растений, мелиорантов почв, органоминеральных удобрений, углещелочных реагентов, применяемых при бурении скважин, и других продуктов нетопливного назначения.

В зависимости от способа термохимической переработки бурых углей конечная себестоимость получаемых энергоносителей будет различной, однако при цене на нефть более 100 долл. за баррель получаемые из бурых углей энергоносители экономически будут вполне конкурентоспособны.

На втором этапе может быть построено горнодобывающее предприятие на базе Лельчицкого месторождения с объемом годовой добычи угля около 1 млн т. Исследования показали, что в отличие от неогеновых Лельчицкие угли не пригодны для термохимической переработки, но вполне могут быть использованы в качестве топлива для ТЭЦ мощностью 460 МВт, которую планируется построить к 2018 г. в Мозыре.

Одной из наиболее сложных проблем переработки как Житковичских, так и Лельчицких бурых углей является проблема утилизация золы. В настоящее время в Институте природопользования НАН Беларуси проводятся работы по изучению возможности использованию золы бурых углей в производстве стройматериалов, получены положительные результаты.

Горючие сланцы. Залежи горючих сланцев Беларуси сосредоточены в Припятском сланценосном бассейне. Прогнозные ресурсы оценены в 8,83 млрд. т. Глубина залегания пластов колеблется от 50 до 600 м и более, мощность пластов небольшая – от 0,1 до 3,7 м [1, 6]. Разведано два месторождения – Любансское (запасы – 0,9 млрд т) и Турковское (2,7 млрд т), разработка которых возможна только шахтным способом.

Наиболее освоенной и пригодной для белорусских горючих сланцев является технология термической переработки на установках с твердым теплоносителем УТТ-3000. К настоящему времени разработано четыре варианта ТЭО целесообразности освоения месторождений горю-

ких сланцев. Наиболее полно представлено ТЭО 2010 года (разработчик «Белгорхимпром»). В нем рекомендуется освоенная в других странах и упомянутая выше технология термической переработки с твердым теплоносителем на основе агрегатов УТТ-3000, производительностью около 1 млн т сланцев в год с получением из 1 т сланца 70–100 кг сланцевой смолы («сланцевой нефти»), 30–40 м³ высококалорийного газа и около 800 кг твердых зольных отходов. Промышленное освоение месторождений горючих сланцев целесообразно только при условии утилизации зольных отходов, а эффективность использования сырья может быть повышена за счет его совместной термической переработки с торфом, бурами углами, сапропелем или полимерными отходами. Экономически выгодно получать высококалорийные углеводороды из сланцев при стоимости нефти свыше 100 долл. США за баррель.

В 2011 г. «Белгорхимпром» разработал новый вариант ТЭО, содержащий вывод о нерентабельности добычи и переработки горючих сланцев белорусских месторождений. По мнению экспертов Института природопользования, этот вывод спорный и требует дополнительного обоснования. Проблема окупаемости освоения месторождений может быть решена путем передачи их в концессию. В любом варианте решение о промышленном освоении Туровского и Любанско-го месторождений должно предусматривать осуществление комплекса мероприятий по минимизации экологических последствий добычи и переработки сланцев.

Природный газ. В Беларуси залежи природного газа не установлены. При добыче нефти ежегодно добывается около 220 млн м³ попутного газа, который перерабатывается на Белорусском газовом заводе (г. Речица). Недостающий объем природного газа в количестве 20–21 млрд м³ ежегодно экспортируется из России, поэтому проблема поисков в Беларуси залежей природного и сланцевого газа является весьма актуальной. По мнению нефтяников «Белгеологии», в Припятском прогибе возможно выявление газовых и газогидратных месторождений на глубинах 3,5 км и более [2, 6].

Сланцевый газ. С 2010 г. широкий интерес вызвала проблема поисков сланцевого газа, что было обусловлено информацией об успехах добычи этого энергоносителя в США и Канаде. Несмотря на название, «сланцевый» газ не связан с горючими сланцами. Это общее название природных, преимущественно метановых газов, содержащихся в микротрецинах слабопроницаемых плотных пород, как правило залегающих на глубинах от 1 до 4 км и более.

Газ, добываемый из плотных глинистых пород, в англоязычной литературе называют термином *shale gas*, из плотных карбонатных и песчаных пород – *tight gas*. В настоящее время в Беларуси начато изучение перспективных объек-

тов в пределах нескольких участков Припятского прогиба на глубинах 3–5 км с использованием новой технологии сейсмических исследований с одновременным бурением двух параметрических скважин глубиной 5 км и более.

Группа специалистов Института природопользования НАН Беларуси, РУП «Белгеология» и ОАО «Белоруснефть», НИГРУП «Белгео» выполнила анализ перспектив недр Беларуси на поиски скоплений «сланцевого газа» и выделила несколько перспективных участков в Припятском прогибе и Подлясско-Брестской впадине. Результаты этого анализа переданы в Департамент по геологии Минприроды.

Необходимо выполнить обоснование экономической целесообразности инвестиций в разведку и добычу сланцевого газа в Беларуси. Одно из экономически наиболее целесообразных направлений – выдача концессий на поиски и разведку месторождений сланцевого газа иностранным компаниям без прав на его добычу. Именно таким путем пошла Польша, предоставившая в концессию более 100 участков с целью получения средств от продажи концессий (без передачи прав на разработку потенциальных залежей) и использования информации о возможных ресурсах газа для снижения цен на переговорах с российскими поставщиками природного газа.

Специалистами ПО «Беларусьнефть» разработана программа «Комплексирование поисковых и аналитических методов для прогнозирования месторождений газа типа «сланцевого» (shale-gas) и «сжатого» (tight-gas) и выявление перспективных объектов в Беларуси». Она предусматривает выполнение в 2012 г. научно-исследовательских работ по определению геологических, геофизических и геохимических поисковых критериев и выбору перспективных участков для поисков мест скоплений сланцевого газа. Вместе с тем следует иметь в виду, что мировой опыт решения сланцевогазовой проблемы показывает, что добыча сланцевого газа может быть только вспомогательным направлением в решении проблем энергетической безопасности.

Гипс. Гипсовый камень ввозится в республику в объемах около 260 тыс. т в год, в то же время на территории Беларуси выявлено крупное Бриневское месторождение гипса. Сыре пригодно для производства строительного и медицинского гипса, добавок в цемент, получения сульфатсодержащих удобрений. Имеется реальная возможность строительства на базе Бриневского месторождения экономически эффективного горнодобывающего предприятия мощностью 1 млн т гипса в год, что позволит удовлетворить внутренние потребности и осуществлять экспортные поставки.

Вместе с тем, в настоящее время остро стоит проблема утилизации больших объемов (более 12 млн т) промышленных отходов Го-

мельского химического завода в виде фосфогипса, а также содержащих гипс отходов в шламохранилищах ОАО «Мозырьсоль». Фактически это крупные техногенные месторождения, содержащие не только гипс, но и ценные редкоземельные элементы (церий, лантан, неодим, иттрий и др.), суммарное содержание которых в накопившихся отвалах фосфогипса достигает 65 тыс. т, а стоимость превышает 6 млрд долл. Промышленные технологии переработки фосфогипса с получением гипса и редких земель успешно используются в России, но отсутствуют в Беларуси. Актуальная задача белорусских ученых-химиков, можно сказать вопрос их престижа, – освоить российские технологии либо разработать не менее эффективные свои. Решение этой проблемы целесообразно реализовать в рамках одной из ГНТП.

Фосфориты. Фосфориты являются одной из важнейших разновидностей агроруд. В осадочном чехле территории Беларуси установлен ряд разновидностей формаций, обогащенных минералами фосфора: шеровичская серия нижнерифейского комплекса; глауконит-кварцевая формация нижнего кембрия; точечные проявления фосфоритов в ордовике; нижнемеловые фосфоритоносные отложения (Припятский прогиб, глубина залегания 156–234 м, конкреции и желваки песчанистых фосфоритов; Жлобинская седловина, глубина залегания 116 м); альбеноманские (70 месторождений желваковых фосфоритов, среди них два предварительно разведанных – Мстиславльское и Лобковичское); палеогеновые (верхнеэоцен-нижнеолигоценовые) отложения; турон-палеоценовая глинисто-фосфатоносная кора выщелачивания (Брестская впадина и Полесская седловина, глубина залегания 40–70 м); четвертичные отложения восточной части Беларуси (Могилевская область) – вторичные фосфориты, конкреции.

В пределах Беларуси выделено два фосфоритоносных бассейна – Сожский (меловой) на востоке и Припятский (палеогеновый) – на юге. Сожский бассейн включает месторождения Мстиславль и Лобковичи. Оба месторождения пока не рентабельны для разработки карьерным способом в связи со сложными горнотехническими условиями и низким содержанием (6–7 %) фосфорного ангидрита в рудах.

В пределах Припятского фосфоритоносного бассейна выделены и оценены Ореховское (ориентировочные запасы – 13,6 млн т фосфорного ангидрита) и Приграничное (ориентировочные запасы – 1,24 млн т фосфорного ангидрита) месторождения фосфоритов. Желваковые фосфориты сосредоточены на самой южной части этой территории до глубины 35–45 м. К северу (с погружением до 50–60 м) преобладают желваковый тип и фосфатная глина. Севернее на большей глубине (свыше 60 м) встречается фосфатная глина с желваками фосфорита и тонкими

прослойками зернистого фосфорита. Территория юго-запада районирована по степени перспективности на фосфориты. Предварительные технико-экономические расчеты показывают целесообразность постановки на обоих месторождениях более детальных разведочных работ.

Современное состояние изученности проблемы фосфоритоносности Беларуси позволяет констатировать, что на ее территории вряд ли возможно выявление крупных рентабельных месторождений, которые решили бы проблему фосфатных удобрений республики. Сложившаяся ситуация в снабжении агропромышленного комплекса Беларуси фосфорными удобрениями требует пересмотра существующего подхода к этой проблеме и всесторонней геологической, технологической и экономической оценке перспектив добычи, обогащения и переработки собственных ресурсов фосфатов (местного сырья) с учетом изменения стоимости сырья, возможности производства комплексных калийно-фосфатных удобрений.

Алюминиевое и содовое сырье. До недавнего времени единственным сырьем для производства алюминия были бокситы, однако ограниченность их запасов привела к необходимости использования для получения алюминия месторождений нетрадиционного глиноземного сырья – алунитов, нефелинов, давсонитов. В Гомельской области открыто месторождение давсонита Заозерное, где выделяются две рудные залежи, залегающие на глубинах от 400 до 1000 м. Среднее содержание давсонита в рудах колеблется от 26 до 38 %. Содержание в них глинозема – от 16 до 63 %, оксида натрия – от 0,14 до 20 %.

Для создания собственной минерально-сырьевой базы в перспективе необходима предварительная разведка месторождения Заозерное с определением его промышленного значения в качестве содового сырья и сырья для производства алюминия.

Бериллий и редкоземельные элементы. Рудоносные метасоматиты выявлены на месторождении «Диабазовое» (Гомельская область). Установлено, что руды относятся к труднообогатимому сырью, но могут быть переработаны по специальным схемам с получением технических гидрооксидов редких элементов с извлечением 59–61 % [1, 6].

В ТЭО временных кондиций обоснована рентабельность эксплуатации месторождения. Она повышается при попутной добыче диабазов для производства минеральных волокон. Информация о перспективах освоения бериллиево-редкоземельного месторождения «Диабазовое» была рассмотрена на заседаниях Госсовета по проблемам освоения недр в 2010 и 2012 гг.

Позиция НАН Беларуси сводится к следующему. Разведанных запасов бериллия месторождения «Диабазовое» имеется не более

чем на 10 лет эксплуатации месторождения при минимальном годовом объеме добычи.

Этих запасов для эффективного промышленного использования недостаточно, поэтому требуется их увеличение не менее, чем в 5 раз до уровня, обеспечивающего 40–50 лет работы горнодобывающего предприятия.

В настоящее время бериллий и редкоземельные металлы в промышленности Беларуси не используются и в ближайшей перспективе месторождение «Диабазовое» не может рассматриваться в качестве сырьевой базы для отечественной промышленности. Однако, учитывая высокую стоимость и стратегическое значение бериллия и других редких металлов, можно согласиться с мнением о том, что освоение месторождения в принципе является оправданным. Особого внимания требует проблема влияния добычи и переработки бериллия на окружающую среду и здоровье человека. Бериллий является высокотоксичным элементом. Поэтому необходимо предусмотреть комплекс мероприятий по минимизации экологических последствий разработки месторождения.

Цементное сырье. Сырьевой базой действующих в стране цементных заводов ОАО «Красносельскстройматериалы», ПРУП «Белорусский цементный завод» ПРУП «Кричевцементношифер» являются соответственно месторождения мела Волковысской группы отторженцев с промышленными запасами 130 млн т; месторождение мергельно-меловых пород «Коммунарское» с промышленными запасами карбонатно-нонго компонента 270 млн т; месторождение мергельно-меловых пород «Каменка» с промышленными запасами цементного сырья 170 млн т. Актуальным является создание резервной сырьевой базы для ПРУП «Белорусский цементный завод».

Строительные материалы. Сырьевая база производства строительных материалов включает около 150 месторождений строительных песков с общими запасами более 0,5 млрд м³, около 200 месторождений песчано-гравийного материала с общими запасами более 0,7 млрд м³, более 200 месторождений глинистых пород, используемых для производства грубой керамики, с общими запасами более 250 млн м³, 6 месторождений тугоплавких глин с общими запасами более 50 млн т. Вместе с тем Беларусь импортирует ежегодно около 16 тыс. т бентонитовых глин, 27 тыс. т каолинов, 50 тыс. т гальки и щебня, 90 тыс. т кальцинированной соды, 377 тыс. т кварцевых песков, 8 тыс. т извести, 8 тыс. т магнезита. При этом по некоторым видам минерального сырья (бентонитовые глины, строительный камень, кварцевые пески) имеются разведанные запасы для промышленного освоения и производства продукции не только для внутреннего потребления, но и на экспорт.

Имеющиеся запасы глинистого сырья, строительных песков и песчано-гравийного материала вполне могут удовлетворить потребность промышленности стройматериалов. Но в разрезе областей состояние сырьевой базы не так благополучно. В Гродненской, Могилевской и Брестской областях, где ощущается дефицит строительных материалов, необходимо расширить поиски новых месторождений.

На территории республики выявлено 3 месторождения строительного камня с общими промышленными запасами около 600 млн м³, расположенные в Брестской и Гомельской областях. На месторождениях «Микашевичи» и «Глушковичи» ежегодно добывается более 5 млн м³ строительного камня. На базе месторождения «Микашевичи» планируется строительство новой технологической линии по выпуску щебня. В связи с этим возникает вопрос о создании резервной сырьевой базы. Кроме того, в 2012–2014 гг. на базе месторождения строительного камня «Ситницкое» планируется строительство горно-обогатительного комбината производительностью до 8 млн м³ строительных материалов в год, на базе участка «Крестьянская Нива» месторождения «Глушковичи» карьера производительностью до 1 млн м³ щебня в год. В 2,5 км южнее д. Глушковичи расположено месторождение облицовочного камня «Карьер Надежды» с запасами 3,3 млн м³, которое планируется передать в концессию.

Кварцевые пески. В Беларуси выявлено 11 месторождений кварцевых песков, расположенных в Гомельской и Брестской областях. Добыча кварцевых песков для стекольного производства ведется ОАО «Гомельский ГОК» на месторождении «Ленино». Ежегодно добывается около 1 млн т стекольных и формовочных кварцевых песков. Проблема заключается в том, что на месторождении «Ленино» оставшиеся промышленные запасы составляют 4 млн т, которых хватает всего на 4 года. Для укрепления сырьевой базы предприятия необходимо освоение месторождения кварцевых песков «Лениндар».

В перспективе для обеспечения стекольного и формовочного производства сырьем необходимо вовлечение в промышленное освоение месторождений кварцевых песков Знаменка, Красный Партизан, Черетянка, Высокополье, а также строительство нового горно-обогатительного комбината на базе месторождений Городное и Бережное.

Геотермальная энергия – это естественное тепло земных недр, запасы которого увеличиваются с глубиной. В Беларуси максимальные температуры недр, достигающие 100 °С и выше, зафиксированы в Припятском прогибе на глубине 4,5–5,0 км [2, 3].

Перспективное направление работ в области использования геотермальной энергии глубоких горизонтов минеральных вод состоит в изуче-

ния возможности использования водозаборных скважин и глубоких скважин, пробуренных на нефть и ликвидированных в связи с прекращением ее добычи.

Важной научной проблемой является разработка технологии извлечения геотермальной энергии из глубоких горизонтов минеральных вод и рассолов.

Перспективы выявления новых месторождений металлических полезных ископаемых, связанных с породами кристаллического фундамента

Основные ресурсы металлических полезных ископаемых в Беларуси связаны с породами кристаллического фундамента, который имеет сложное строение и залегает на глубине от нескольких сот метров до 6 км. Несмотря на значительный объем геофизических и буровых работ, к настоящему времени в фундаменте установлено только два месторождения железных руд и одно бериллиево-редкометальное. В 2012–2015 гг. необходимо выполнить оценку перспектив территории республики на наличие цветных, редких и благородных металлов, а также урана.

Научной основой прогноза новых месторождений в фундаменте должно стать проведение комплекса исследований по изучению глубинного строения земной коры с выявлением геодинамических критериев прогноза рудных полезных ископаемых. Уже сейчас можно сконцентрировать усилия на наиболее перспективных структурах. В первую очередь это Смолевичско-Дрогичинская шовная зона, важнейшей металлогенической особенностью которой является высокая вероятность формирования месторождений черных (железо, титан, хром), цветных (медь, никель,钴, свинец, цинк) металлов. На благородно-метальное оруденение (золото, платиноиды) перспективна Оковская металлогеническая зона с предварительно оцененными ресурсами золота в 150 т, на самородную медь – зона сочленения Ратновского горста и Полесской седловины, медно-никелевые руды – зона сочленения Жлобинской седловины и Припятского прогиба, медно-молибденово-серебряные руды – Поречанский гранитный массив.

Определенный интерес представляет также сформированный в геодинамической обстановке активной континентальной окраины Осницко-Микашевичский вулканоплатонический пояс, в пределах которого установлено оруденение редких металлов и редких земель.

Урановые руды. В Беларуси начато строительство атомной электростанции, поэтому актуален вопрос о сырье для получения ядерного топлива. Вместе с тем перспективы открытия промышленно значимых месторождений урана на территории Беларуси имеют определенную вероятность [1, 9]. Это основывается на фактическом материале массовых поисков урана, выполненных на территории Беларуси в

1970–1980-е годы. Проведенными работами установлены Долгиновское, Раевщинское рудопроявления, а также несколько рудопроявлений в пределах Малиновско-Октябрьской и Болотницкой площадей и др.

Наиболее перспективным объектом для постановки геологоразведочных работ на уран является Болотницкая площадь в Лельчицком районе Гомельской области, на которой на площади около 320 км² на глубине 300–500 м в песчано-глинистых отложениях нижнего карбона установлена зона инфильтрационной урановой минерализации и выявлены четыре рудопроявления (Боровое, Юбилейное, Калиновское и Болотницкое).

Содержание урана по результатам химического анализа, выполненного в специализированной лаборатории ПО «Кировгеология», достигает промышленных значений, разработка возможна методом подземного выщелачивания. В 2012–2015 гг. планируется выполнить поисково-оценочные работы с отработкой метода подземного выщелачивания урана на Юбилейном рудопроявлении Болотницкой площади и оценить его промышленное значение.

Повышенные концентрации урана установлены также в бурых углях Лельчицкого углепроявления, располагающегося в 10–15 км к востоку от Болотницкой зоны.

Основываясь на благоприятных геологических предпосыпках для выявления промышленно значимых месторождений урановых руд, имеющих важное стратегическое значение, имеет смысл восстановить поиски рудопроявлений урана и других радиоактивных элементов (тория, радия) при проведении всех видов геологоразведочных работ на территории Беларуси, а в перспективе выполнить комплекс поисково-оценочных работ на уран в пределах Болотницкой площади и на территории некоторых других перспективных районов.

Графит. В Узденском районе Минской области установлено Пуховщинское проявление графита с прогнозными ресурсами 77 млн т. Графит широко используется в металлургии, машиностроении и других отраслях промышленности. Для изучения промышленного значения проявления необходимо проведение оценочных работ и предварительной разведки.

Пирофилюм. В Лельчицком районе Гомельской области выявлена площадь, перспективная на обнаружение залежей пирофилюм-каолиновых руд. Прогнозные ресурсы полезного ископаемого составляют 4,5 млрд т. Пирофилюм-каолиновые руды являются сырьем для получения химически и термически стойких керамических изделий, необходимых для различных областей промышленности. Для оценки их промышленного значения необходимо проведение геологоразведочных работ и технологических исследований.

Алмазы. Наибольшее значение в решении проблемы алмазоносности территории Беларуси имели результаты исследований академика А. С. Махнача, Н. В. Веретенникова и В. П. Корзун из Института геохимии и геофизики НАН Беларуси. На основе многолетнего изучения девонской щелочно-ультраосновной – щелочно-базальтоидной формации еще в 1976 г. они предложили конкретные площади для поисков коренных алмазов. Геологоразведочные работы на алмазы и прежде всего «заверка» бурением выявленных в 1989 г. детальной геомагнитной съемкой небольших по диаметру кольцевых аномалий на Северо-Припятском плече, были начаты в начале 1990-х годов. Результатом стало открытие перспективных структур – трубок взрыва (диатрем). Были выявлены Жлобинское и Уваровичское поля, в пределах которых установлено 33 трубы взрыва. В 8 трубках обнаружены единичные мелкие обломки алмазов: Антоновская, Асоя, Веточка, Денисковичи, Еленово, Сеножатка, Федоровская, Цупер.

Работы Н. В. Веретенникова и В. П. Корзуна позволили по данным изучения пород из диатрем Жлобинского поля установить их главную компоненту – ювенильный литокластический материал, соответствующий не кимберлитам и лампроитам, а ультраосновным породам щелочного ряда калиевой серии – щелочным пикритам и ультраосновным фондитам. Напротив, в 2002 г. в монографии «Полезные ископаемые Беларуси» авторы раздела «Перспективы алмазоносности территории Беларуси» Е. А. Никитин, П. З. Хомич, М. Г. Левый и др. предложили рассматривать территорию Беларуси как перспективную на коренные источники алмазов кимберлитового и лампроитового типов, а также россыпей в терригенных формациях осадочного чехла. Поэтому проблема алмазоносности остается актуальной до сих пор и требует выполнения комплекса научно-исследовательских работ.

Для выявления новых перспективных площадей необходимо изучение данных дистанционного зондирования Земли восточной части Жлобинской седловины и всей территории Брагинско-Лоевской седловины. В целях выделения аномалий, перспективных на выявление диатрем, необходимо провести аэромагнитную съемку перспективных площадей с заверкой бурением перспективных участков и оценкой их алмазоносности.

Приоритетные направления и научно-организационные (программные) задачи развития наук о Земле и геологической отрасли

Рассмотрим некоторые общие проблемы научно-организационного характера, которые необходимо решить в первую очередь для развития геологоразведочной отрасли и геологической науки. Одной из основных задач является совершенствование нормативно-правовой базы геологоразведочного производства с разработкой новых

и корректировке действующих стандартов, норм и правил в сфере недропользования и охраны окружающей среды [4].

Нормативно-правовой база должна способствовать внедрению рыночных отношений в систему недропользования, создать благоприятные условия для привлечения отечественных и иностранных инвестиций в разведку и разработку месторождений полезных ископаемых, способствовать развитию фундаментальных и прикладных научных исследований.

В настоящее время основные направления государственной минерально-сырьевой политики определяют несколько утвержденных в разное время нормативных документов и Государственная программа освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г. (далее Программа) [7].

Программа содержит ряд мер по реформированию геологической службы страны и повышению эффективности ее деятельности. В частности, на Минприроды Республики Беларусь и Департамент по геологии впервые возложена координация работ по подготовке к промышленному освоению и разработке месторождений полезных ископаемых, проведению стоимостной оценки месторождений и анализа мирового рынка минерально-сырьевых ресурсов. Представляется своевременным создание в системе Минприроды республиканского унитарного предприятия «Зарубежгеология», деятельность которого будет направлена на оказание услуг в области геологического изучения недр и разработки месторождений полезных ископаемых за рубежом, а также на привлечение иностранных инвестиций в освоение месторождений полезных ископаемых в Республике Беларусь.

Однако, в силу ряда причин даже после внесения изменений и дополнений Программа не дает полного представления о стратегических направлениях развития отрасли и геологической науки в целом. К тому же часть из приведенных задач по-прежнему имеет декларативный характер (как, например, декларируемое только на бумаге проведение средне- и крупномасштабной съемки), а решение некоторых из рассмотренных выше системных проблем вообще не предусматривается.

Сказанное свидетельствует о назревшей необходимости принятия новой Стратегии развития геологической отрасли и геологической науки Республики Беларусь, которая призвана стать основой долгосрочного планирования деятельности научных и производственных организаций страны в сфере геологического изучения недр и освоения минерально-сырьевых ресурсов, наметить пути решения проблемы подготовки и закрепления квалифицированных кадров, развития геологической науки, совершенствования норма-

тивно-правовой базы недропользования. Авторы считают, что при разработке такого документа целесообразно обратить внимание на утвержденную в 2010 г. В. В. Путиным Стратегию развития геологической отрасли Российской Федерации до 2030 года.

В качестве приоритетных направлений должны быть определены: совершенствование системы государственного управления геологическим изучением недр; повышение инвестиционной привлекательности геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы; совершенствование системы сбора, обработки, анализа, хранения и предоставления в пользование геологической информации; совершенствование научно-технического обеспечения геологоразведочных работ; создание условий для внедрения инновационных технологий; совершенствование системы подготовки и переподготовки кадров; сохранение существующих и создания новых научных школ в области наук о Земле, проведения на постоянной основе опережающих фундаментальных геологических исследований.

Актуальной проблемой научно-организационного обеспечения развития минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности Республики Беларусь является укрепление Департамента по геологии и других организаций Геологической службы страны, создание в Геологической службе новых подразделений по исследованию проблем экономики минерального сырья.

Для ускорения освоения подготовленных к разработке месторождений целесообразно создавать крупные холдинги, специализирующиеся на разработке месторождений определенного вида сырья, производстве и сбыте продуктов переработки такого сырья.

В целях организации всемерной поддержки экспорта научно-исследовательских, геолого-поисковых, геологоразведочных и проектных работ в странах ближнего и дальнего зарубежья следует обеспечить организации, предлагающие такие услуги, системой налоговых и других финансовых преференций.

Современное состояние технико-технологического обеспечения геологоразведочной отрасли свидетельствует о необходимости принятия неотложных мер по его улучшению. Основные производственные фонды геологических организаций значительно сократились, амортизационные сроки большинства оборудования выработаны в несколько раз. В то же время закупки геофизического, бурового и лабораторного оборудования весьма незначительны и не решают проблему технического переоснащения отрасли.

Назрела необходимость и в создании системы геолого-экономического мониторинга, под которым понимается система оперативного отслеживания, анализа и прогноза изменения пока-

зателей, характеризующих текущее состояние минерально-сырьевой базы страны под влиянием меняющихся геолого-экономических и социально-экономических факторов, состояния ресурсов и запасов минерального сырья, необходимых для принятия управлеченческих решений по эффективному освоению ресурсов недр.

Важнейшая составная часть мониторинга – оценка стоимости запасов полезных ископаемых. Она необходима для решения вопросов оценки минеральных ресурсов в составе национального богатства страны, регламентации режимов недропользования, разработки эффективной налоговой политики, разграничения государственной и иных видов собственности.

Решающее значение в развитии геологических исследований имеет возможность обработки и освоения огромного объема геологических, геофизических, геохимических и дистанционных данных на основе современных информационных технологий. При этом принципиально новым является переход от качественных оценок к количественным моделям.

Информационно-методическое обеспечение геологического изучения недр должно предусматривать решение следующих задач: разработку и внедрение новых методов ведения геологоразведочных работ; совершенствование технической нормативной правовой базы; внедрение информационно-технологических решений, обеспечивающих использование баз данных геологической информации, создание единой геолого-информационной системы; внедрение ГИС-технологий при составлении государственных геологических карт нового поколения.

Реформирование геологоразведочной отрасли и ее научного обеспечения невозможно без значительных инвестиций. Сейчас работы по развитию минерально-сырьевой базы финансируются в рамках Госпрограммы с привлечением фонда охраны природы. В структуре госбюджета целесообразно создать новый геологический фонд – фонд воспроизведения минерально-сырьевой базы и развития научного обеспечения геологоразведочных работ. И, наконец, развитие геологической отрасли тесно связано с решением проблем разработки высокоеффективных технологий добычи и переработки минерального сырья. Научно-исследовательские работы по созданию эффективных и экологически безопасных технологий добычи и переработки калийных солей и некоторых других видов минерального сырья в последние годы проводятся преимущественно в наиболее крупном (более 900 сотрудников) проектном институте «Белгорхимпром». Проблему создания высокоеффективных технологий увеличения нефтеотдачи и освоения трудноизвлекаемых запасов нефти успешно решает «Белнипинефть». В НАН Беларуси такие работы ведутся только по отдельным узким направлениям небольшими группами специалистов. Это

исследования в области технологий добычи и комплексного использования торфа, бурых углей и горючих сланцев (Институт природопользования), производства калийных и фосфорных удобрений (Институт общей и неорганической химии).

Сложившаяся ситуация требует кардинального исправления, поэтому в перспективе необходимо создание специализированного инжинирингового Центра по горным наукам и освоению минерально-сырьевых ресурсов со специализацией на проблемах разработки технологий добычи и переработки различных полезных ископаемых, а также проектировании горнодобывающих и горнообогатительных комплексов.

Развитие наук о Земле и повышение эффективности освоения минерально-сырьевых ресурсов должны быть обеспечены принятием ряда научно-организационных решений, включающих: разработку проекта Стратегии развития геологической науки и геологической отрасли Республики Беларусь; преобразование Департамента по геологии Минприроды Республики Беларусь в Государственный комитет по геологии и горной промышленности; законодательное закрепление порядка подготовки месторождений к промышленному освоению, предусматривающего выполнение за счет госбюджета только региональных, поисково-оценочных работ и, в отдельных случаях, предварительной и детальной разведки; обновление и техническое перевооружение геологической отрасли и геологической науки; расширение подготовки в ВУЗах и ССУЗах Республики Беларусь специалистов в области

наук о Земле, геологии и горного дела с возможностью обучения таких специалистов за рубежом; укрепление в научных организациях различных министерств и ведомств Беларуси структур (институтов, лабораторий), выполняющих исследования в области наук о Земле, включая воссоздание в НАН Беларуси Института геологических наук; создание специализированного инжинирингового Центра по горным наукам и освоению минерально-сырьевых ресурсов, специализирующегося на разработке технологий добычи и переработки широкого спектра полезных ископаемых, проектировании и строительстве горнодобывающих предприятий, исследовании проблем экономики минерального сырья.

Для ускорения и повышения эффективности освоения месторождений полезных ископаемых необходимо рассмотреть целесообразность создания крупных компаний и холдингов, специализирующихся на разработке месторождений определенного вида сырья и реализации продуктов его переработки.

Следует подчеркнуть, что укрепление экономической основы развития геологоразведочной отрасли и наук о Земле невозможно без законодательного закрепления направления определенной части рентных платежей за право разработки месторождений полезных ископаемых и роялти в размере 3–5 % от стоимости реализованной продукции горнодобывающих предприятий в распоряжение Геологической службы страны и НАН Беларуси.

Литература

1. **Варакса, В. В.** Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых: состояние и направления инновационного развития / В. В. Варакса [и др.] // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр : материалы науч.-практ. конф. Минск, 2007. С. 41–52.
2. **Грибик, Я. Г.** Основные направления работ на энергетические полезные ископаемые / Я. Г. Грибик // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр : материалы науч.-практ. конф. Минск, 2007. С. 388–392.
3. **Зуй, В. И.** Структура теплового поля платформенного чехла Беларуси : автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук / В. И. Зуй. Минск, 2007.
4. **Карпук, В. В.** Актуальные проблемы прикладной науки в изучении и освоении недр Республики Беларусь / В. В. Карпук [и др.] // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр : материалы науч.-практ. конф. Минск, 2007. С. 3–4.
5. **Мальцев, А. М.** Изучение золотоносности пород Окововского месторождения железистых кварцитов – основа для дальнейших поисков промышленного благороднометального оруденения / А. М. Мальцев [и др.] // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр : материалы науч.-практ. конф. Минск, 2007. С. 178–183.
6. **Полезные ископаемые Беларусь** / Редкол. П. З. Хомич [и др.]. Минск, 2002.
7. **Программа освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2011–2015 годы и на период до 2020 года** // Мин-во природ. ресурсов и охр. окруж. среды Республики Беларусь. Минск, 2011.
8. **Пряхин, А. А., Солодилова, В. В.** Перспективы кристаллического фундамента Беларуси на металлические полезные ископаемые / А. А. Пряхин, В. В. Солодилова // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр : материалы науч.-практ. конф. Минск, 2007. С. 328–332.

9. Степанов, В. А. Перспективы выявления месторождений урана в Беларуси // Геология, поиски и освоение месторождений полезных ископаемых Беларуси / В. А. Степанов ; ред. Р. Е. Айзберг. Минск, 2010. С. 134–139.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 02.03.2012

**А. К. Карабанов, Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, А. В. Кудельский,
И. И. Лиштван, В. Ф. Логинов, А. В. Матвеев**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ И ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

Подчеркнута актуальность исследований по разработке научных основ природопользования, созданию ресурсосберегающих и эколого-безопасных технологий освоения минерального сырья, внедрению ГИС-технологий и выполнению обязательств по международным природоохранным конвенциям. Рассмотрены направления научных исследований и работ по освоению традиционных полезных ископаемых (калийные соли, нефть, торф, сапропель, подземные воды) и перспективных видов минерального сырья (железные руды, гипс, бурый уголь, горючие сланцы, природный и сланцевый газ, бериллий и редкоземельные элементы, урановые руды, геотермальная энергия). Для эффективного проведения этих работ предложено создать и утвердить Стратегию развития геологической отрасли и геологической науки, кардинально обновить технико-технологическое оснащение отрасли, создать систему геолого-экономического мониторинга, центр по горным наукам, крупные компании, специализирующиеся на разработке месторождений определенного вида сырья, предусмотреть финансирование из бюджета только региональных и поисково-оценочных работ, расширить подготовку специалистов в области наук о Земле, преобразовать Департамент по геологии в Государственный комитет по геологии и горной промышленности, укрепить в НАН Беларуси исследования в области наук о Земле, законодательно закрепить направление определенной части прибыли, получаемой за счет разработки и реализации минерального сырья, на развитие региональных геологических работ и научных исследований.

**A. K. Karabanov, R. E. Izeberg, R. G. Garetskiy, A. V. Kudelskiy,
I. I. Lishvan, V. F. Loginov, A. V. Matveyev**

CURRENT INVESTIGATION PROBLEMS IN THE SPHERE OF SCIENCES ABOUT THE EARTH AND DEVELOPMENT OF MINERAL-RAW-MATERIAL RESOURCES

The urgency of researches to develop scientific bases of nature management, to create resource-saving and ecology-friendly technologies of mineral raw materials development, to introduce GIS-technologies and to perform obligations on the international nature protection conventions is marked. Directions of scientific researches and activities on the development of traditional minerals (potash salts, oil, peat, sapropel, underground waters) and perspective kinds of mineral raw materials (iron ores, plaster, brown coal, combustible slates, natural and slate gas, beryllium and rare-earth elements, uranium ores, geothermal energy) are considered. To effectively carry out these works it is offered to create and to confirm the Strategy of the Development of geological branch and geological science, to cardinally update technical-technological provision of the branch, to create a system of geological-economic monitoring, the mountain sciences centre, large companies specializing on the development of deposits of a certain kind of raw materials, to provide financing from the budget only regional and search-estimating works, to expand experts training in the field of sciences about the Earth, to transform the Department on Geology to the State Committee on Geology and Mining Industry, to strengthen in NAS of Belarus researches in the field of sciences about the Earth, to adopt a legislative law on using a part of the profit obtained on account of the development and realization of mineral raw materials to develop regional geological works and scientific researches.

УДК 551.583:631.559(476)

В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ИЗМЕНЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Рассмотрены экстремальные погодно-климатические явления в вегетационные периоды на территории Беларуси. Выявлены пространственно-временные особенности изменения аномалий температуры воздуха и количества осадков, сумм активных температур, гидротермического коэффициента во влажные прохладные годы и в засушливые годы. Выполнена оценка изменений урожайности основных сельскохозяйственных культур в экстремальных погодных условиях.

Вопросы формирования крупных погодных и климатических аномалий на территории Беларуси и их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур изучались в многочисленных работах [1, 3, 4].

В настоящей работе на основании анализа температуры воздуха и осадков в летнее время, в конце весны и начале осени были отобраны пять самых крупных (ряд из них можно отнести к сверхэкстремальным) засушливых явлений и пять самых холодных и влажных явлений в последний более чем 50-летний период (1960–2011 гг.).

При выборе экстремальных погодных и климатических явлений основное внимание уделялось анализу не только величин среднемесечных отклонений температуры и осадков от нормы, но и учету продолжительности таких отклонений, а также оценке пространственных масштабов экстремальных погодно-климатических явлений.

С учетом указанных обстоятельств к годам с засушливыми явлениями в атмосфере были отнесены 1992, 1994, 1999, 2002 и 2010 гг., а к влажным и холодным – 1962, 1974, 1977, 1978 и 1980 гг. Как видно из представленного перечисления, на последние двадцать лет приходятся все засушливые явления.

Рассмотрим возможные циркуляционные причины формирования экстремальных погодно-климатических явлений.

Наиболее детально связи увлажненности с термическим режимом рассмотрены в работе О. А. Дроздова [2]. В ней проанализированы два аспекта таких связей. Первый аспект – связь увлажнения с термикой в пределах одного пункта (локальная связь). Второй аспект – связь увлажнения в пункте с глобальными изменениями температуры через общую циркуляцию атмосферы.

В первом варианте осадки возрастают при росте температуры за счет увеличения испарения и роста влагосодержания. Проявление этого эффекта связано с увеличением выпадающих осадков от зимы к лету и возрастанием осадков в

низких широтах (тропики). Он особенно заметен на суще, хотя длительность выпадения осадков может быть и меньшей. Указанный эффект проявлялся в прошлые геологические времена, когда высокая температура способствовала росту испарения и выпадению осадков. Это препятствовало росту опустынивания при высоких температурах. В современных условиях конвекция (включая ее упорядоченную форму в тропических циклонах) компенсирует отсутствие внутритропических фронтов. В умеренных широтах такие условия могут складываться в самые теплые периоды летних месяцев года. Собственно последние в отдельные летние периоды могут создавать климатические условия, близкие к тропическим. Такие случаи наблюдались в отдельные летние сезоны в нашей стране в период современного потепления климата.

Показателем указанных климатических условий является рост повторяемости ливневых осадков в последние два десятилетия. Высокая температура приводит к росту испарения, последующему конденсированию влаги и выделению дополнительной энергии в тропосфере. Последняя и приводит к формированию большего числа ураганов и интенсивной шквалистой деятельности.

Для нынешних географических условий, современной концентрации парниковых газов и аэрозолей значительные термические контрасты «экватор–полюс» приводят к существованию общей циркуляции атмосферы, которая обеспечивает в целом высокое увлажнение умеренных широт. Глобальное потепление, если исходить из современной теории климата, более выражено в высоких широтах, снижая тем самым величину разностей температуры «экватор–полюс» [3].

В современных условиях не отменяется первый тип связей увлажнения и температуры, но добавляется эффект противоположного действующей общей циркуляции атмосферы, что существенно усложняет характер связи увлажнения и температуры.

Вышеизложенное позволяет заключить, что при больших контрастах температуры «экватор–полюс» условия блокирования (ослабление зональной циркуляции) формируются крайне редко, а меридиональные составляющие в циркуляции атмосферы имеют малые временные и пространственные масштабы. Это означает, что проявления процессов блокирования способствует более редкому формированию сухих зим и летних засух. Междуширотный обмен воздушных масс при этом может оставаться интенсивным, но только в течение коротких периодов времени: следующие за циклоническими сериями тыловые антициклоны быстро перемещаются на юг или юго-восток. Ситуация блокирования, когда устанавливаются активные меридиональные потоки в течение длительного периода времени (блокирующие антициклоны), не может сформироваться.

Иная ситуация складывается при уменьшении термических контрастов «экватор–полюс». В этот период увеличивается вероятность междуширотных контрастов увлажнения, большая временная и пространственная изменчивость осадков и, как следствие, вероятность длительных отрицательных аномалий увлажнения, в частности, засушливых явлений.

При уменьшении термических контрастов создаются условия для усиления циклоничности над океаном и антициклоничности над материком. Это, соответственно, должно приводить к большей повторяемости сухих зим и засух.

Известно также, что при потеплении высоких широт происходит смещение траекторий циклонов к северу, что обеспечивает более выраженные условия формирования засух в южной части умеренных широт. Таким образом, потепление климата, которое в современную эпоху более выражено в высоких широтах, должно приводить к большей повторяемости сухих зим и мощных засух на континентах.

В настоящее время идет серьезная дискуссия по вопросу изменения повторяемости засух, наводнений, сухих и теплых зим и других экстремальных климатических явлений. Отмечается увеличение повторяемости ряда из них, например, повторяемость теплых зим и засух [3, 4].

Рассмотрим погодно-климатические условия вегетационных периодов во влажные прохладные годы и в годы с засухами.

В отобранные засушливые годы май редко был теплым. Его средняя температура воздуха близка к климатической норме. В летние месяцы и в сентябре наблюдались положительные температурные аномалии. Для рассматриваемых влажных прохладных лет характерны отрицательные аномалии во все месяцы вегетационного периода.

Максимальные температурные аномалии наблюдаются соответственно в засушливые годы в июле (до +3,0–+3,5 °C), а во влажные годы – в мае (около -2,0 °C) и июле (до -2,0 °C). В среднем

величина аномалий температуры воздуха в засушливые годы (особенно в июле–августе) выше, чем во влажные.

В выбранные влажные и засушливые годы соответственно аномально избыточное или недостаточное количество осадков особенно характерно для июля.

В рассматриваемые экстремально холодные и влажные годы сумма осадков в мае находилась в пределах климатической нормы или превышала ее на большей части страны. Аналогичная ситуация наблюдалась в июне, августе и сентябре для рассматриваемых лет, но изменялась территориальная приуроченность участков с суммой осадков 100–150 % от нормы: в июне – на юге и востоке Беларуси, в августе – в центральной и южной части, а в сентябре – в северной и западной части страны. На остальной территории количество осадков во влажные годы составляло не менее 68 % от климатической нормы.

Для засушливых лет характерен август с недобором осадков 25–50 % от нормы на значительной площади, более влажный июнь и формирование в сентябре положительных аномалий осадков на юго-западе страны.

В рассматриваемые группы лет засушливые явления наблюдались на значительной площади ($\Gamma\text{TK} \leq 0,7$) в июле. Для большинства месяцев в засушливые годы характерно увлажнение территории Беларуси менее нормы, хотя ΓTK изменяется в широких пределах: от 0,8 до 2,0.

Во влажные годы наблюдается избыточное увлажнение ($\Gamma\text{TK} > 2,0$) почти всей территории Беларуси в июле. В мае и сентябре отмечены крупные участки территории страны с переувлажнением. Они охватывали соответственно северную и центральную, северную и западную части страны, а в июне и августе переувлажненные участки более локализованы.

В выбранные группы лет значительно отличались суммы температур воздуха выше 10 и 15 °C. Во влажные прохладные годы в мае–августе территория Беларуси в основном расположена в пределах изолиний сумм температур 1700–1900 °C, а в засушливые годы – 2000–2300 °C.

По суммам температур в мае–сентябре ($> 10 ^\circ\text{C}$) во влажные годы большая часть территории Беларуси находилась в температурно-влажностных условиях Северной агроклиматической области (1950–2200 °C), а южная и юго-восточная – в условиях Центральной агроклиматической области (до 2290 °C), выделенных А. Х. Шкляром.

В засушливые годы на севере Беларуси суммы температур выше 10 °C составляли около 2400–2500 °C, что соответствует их значениям в Южной агроклиматической области. Для большей части Беларуси суммы температур составляют 2500–2775 °C. Близкие суммы температур харак-

терны для северо-запада Украины, в пределах которой, согласно [5], проходят изолинии сумм температур от 2600 до 2800 °C.

Для влажных и засушливых лет отмечены следующие различия отрицательных и положительных аномалий сумм температуры воздуха выше 10 и 15 °C. В засушливые годы по сравнению с влажными и холодными годами на большей части территории Беларуси дополнительные тепловые ресурсы в мае–августе составляют 170–219 °C, в мае–сентябре – 220–269 °C. Причем увеличение сумм температур на 119–200 °C происходит в основном за счет температур июля и августа. В мае–сентябре во влажные годы на большей части территории страны суммы температур на 175–224 °C ниже климатической нормы.

Разность сумм температур выше 10 °C в засушливые и влажные прохладные годы на большей части территории Беларуси достигает более 400 °C, т. е. страна во влажные годы оказывается в условиях, характерных для Северной агроклиматической области Беларуси, а в засушливые годы – в условиях Южной агроклиматической области нашей страны или северо-запада Украины.

Разность сумм температур выше 15 °C в рассматриваемые группы лет на значительной площади составляет 350 °C и более. Вес июля в формировании указанных сумм температур составляет 37–46 % (130–160 °C).

Следует отметить, что для пяти отобранных засушливых периодов, как и для влажных лет, полной аналогии в пространственно-временных изменениях температуры и осадков нет, поэтому нами отдельно рассмотрены годы, в которые наблюдались самые яркие сверхэкстремальные засушливые (2002 и 2010 гг.) и холодные и влажные явления (1977 и 1978 гг.).

Пространственно-временные особенности изменения температуры и осадков в сверхэкстремальные засушливые периоды. В 2002 г. отмечен более отчетливый рост температуры на западе страны и особенно на юго-западе. Положительные аномалии сохранялись в течение длительного времени теплого периода (май–август). В мае, июле и августе аномалии температуры составили до 3,5–4,0 °C. И только в сентябре температура была близка к норме. Наибольшие отклонения температуры воздуха от нормы наблюдались в июле в Гомельской области (4,5–5,0 °C). Если сравнить абсолютные величины аномалий температуры в 1977–1978 гг. и 2002 г., то в последний год они в 2 и более раз выше.

По теплообеспеченности территории 2010 г. характеризовался наиболее крупными положительными аномалиями температуры воздуха, которые в июле и августе составляли соответственно 3,5–6,0 °C (4,93–8,45σ, где σ – стандартное отклонение) и 3,0–6,0 °C (3,19–6,38σ). Наблюдалось существенное уменьшение отклонений температуры воздуха от климатической нормы в мае и

июне: от 1,0 °C (около 1σ) до 3,5 °C (3,76σ) и 4,0 °C (3,77σ) соответственно.

Изотермы в 2010 г. имеют, как правило, близкое к меридиональному направление, а величина температурных аномалий увеличивается с запада на восток. Более сложное расположение изотерм в июле: температура возрастает, в основном, в северо-восточном направлении.

Таким образом, для засухи 2010 г. характерно уменьшение величин положительных аномалий с востока на запад. Особой жесткостью засуха отличалась на юго-востоке страны. Для засухи 2002 г. наблюдалось более сложное распределение аномалий температуры: засуха началась на юго-западе в мае. В июле и августе засуха охватила практически всю территорию страны, но особой жесткостью отличалась в Минской и Гродненской областях, а в июле – еще и в Гомельской области и на самом востоке Могилевской области.

Если в конце весны – начале лета 2002 г. отмечались отдельные пятна, где количество осадков составляло менее 50 % от нормы, то в июле, августе и сентябре площадь таких пятен последовательно возрастала и в сентябре превысила 70 % площади территории страны. Засуха началась на северо-западе страны, охватив в августе весь север и частично центр и восток Беларуси. Пятно положительных аномалий осадков, возникшее в Могилевской области в июле, смешалось на юго-восток Гомельской области, занимая около 1 % территории страны в августе и несколько процентов в сентябре. Засушливые условия сложились почти на всей территории страны и особенно были выражены в августе–сентябре в Витебской, Минской и Могилевской областях.

В мае и сентябре 2010 г. отмечается переувлажнение значительной части территории страны: в мае широкая полоса с избыточным увлажнением (ГТК до 3,0) была вытянута с юго-запада на северо-восток, в сентябре избыточное увлажнение (ГТК = 2,1–4,5) охватывает юго-западную, западную, северную и в меньшей степени восточную часть Беларуси. В летние месяцы, особенно в июле–августе, засушливые явления получили большее распространение (ГТК колеблется от 0,1 до 0,7). В июле засухой были охвачены наибольшие площади: в виде широкой полосы – северные, восточные и северо-восточные районы страны, а в виде локальных пятен – районы в южной и центральной частях Беларуси. В августе засуха отмечается в основном в юго-восточном регионе и отдельных районах Брестской области, в июне – на меньшей площади в юго-восточных и восточных районах. В летние месяцы наблюдались также участки с избыточным увлажнением, занимающие в июне наибольшую площадь на северо-западе Минской и на востоке Брестской области, где ГТК составили 3,0 и выше. Территориальное распределение ГТК в 2010 г. в значительной степени согласуется с распределением аномалий количества осадков (рис. 1).

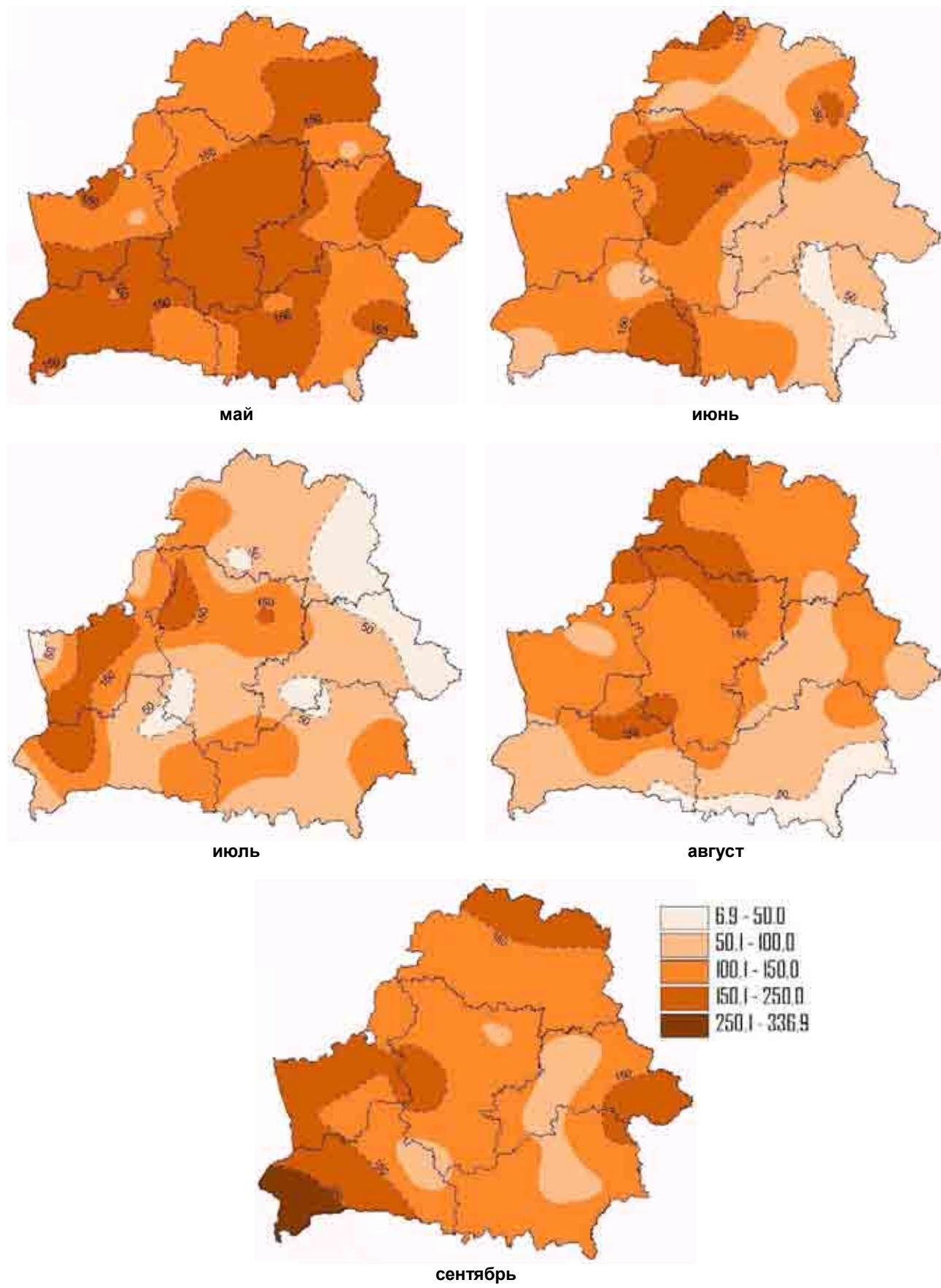


Рис. 1. Отклонения от многолетней нормы среднемесячного количества осадков в вегетационный период в 2010 г. (%)

В 2002 г. суммы активных температур за периоды со среднесуточной температурой воздуха выше 15 °C (май–август) возрастили с севера на юг и составляли на большей части территории страны 2150–2300 °C (рис. 2). Аналогично изменялись и суммы температур выше 10 °C (май–сентябрь): от 2400 до 2800 °C. Такие суммы температур были характерны для большей части территории страны (исключение составляли отдельные районы севера страны). Они отвечали климатическим условиям Южной агроклиматической области, а на большей части территории страны были аналогичны климатическим условиям северо-запада Украины.

Анализ сумм активных температур за периоды со среднесуточной температурой воздуха выше 15 °C (май–август) и 10 °C (май–сентябрь) показал, что суммы температур в данные периоды в 2010 г. увеличиваются с северо-запада на юго-восток (рис. 3). Проведенные через 100 °C изолинии, охватывающие всю территорию Беларуси, имеют субмеридиональное направление; их значение колеблется от 2250 до 2650 °C в мае–августе и от 2550 до 3050 °C в мае–сентябре.

Суммы температур выше 10 °C на территории Беларуси в 2010 г. были близки к суммам температур Донецкой области Украины.

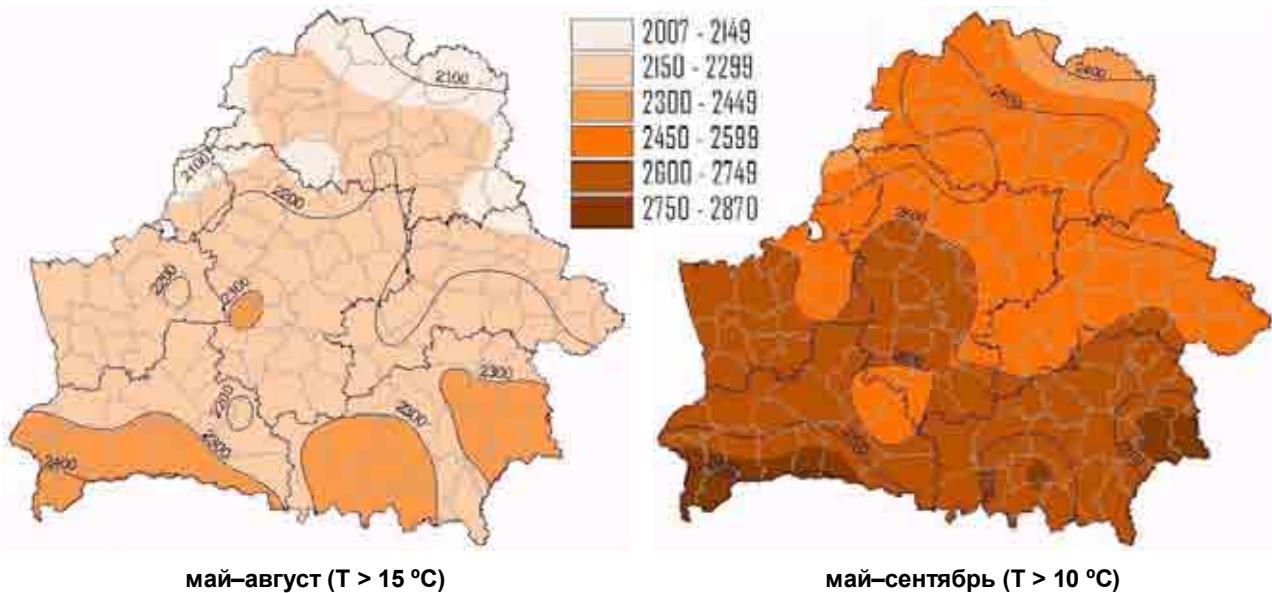


Рис. 2. Суммы температур воздуха (°C) в периоды со среднесуточной температурой воздуха выше 15 и 10 °C в 2002 г.

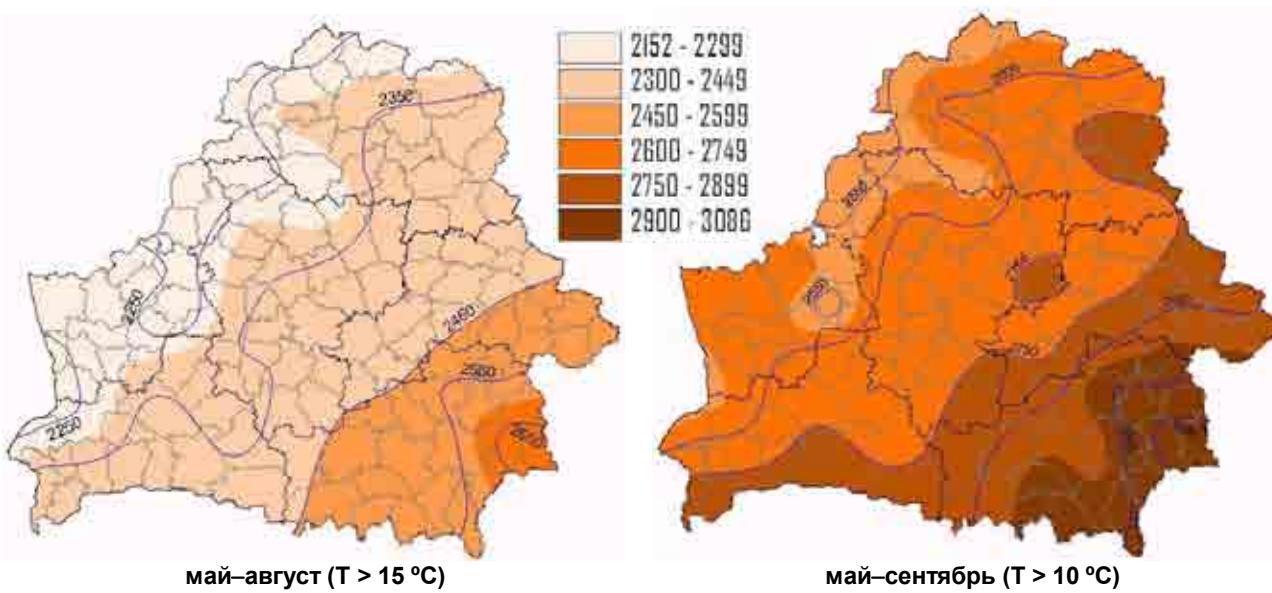


Рис. 3. Суммы температур воздуха (°C) в периоды со среднесуточной температурой воздуха выше 15 и 10 °C в 2010 г.

Отклонения сумм активных температур от климатической нормы в 2002 г. возрастают в западном направлении. На востоке страны на значительной площади отмечены аномалии сумм температур 160–250 °C, а в западной ее половине – 300–350 °C и более. Дополнительные тепловые ресурсы формируются в основном за счет высоких температур июля–августа. На большей части территории страны они составляют 185–235 °C.

Исследование отклонений суммы активных температур от многолетней нормы показало, что в вегетационный период (май–август) 2010 г. происходит увеличение значений дополнительных тепловых ресурсов с запада на восток примерно от 250 до 600 °C и более, которое определяется главным образом вкладом в накопленные суммы температур июля и августа: 190–375 °C.

Связь температуры воздуха и осадков, а также гидротермического коэффициента и температуры в 2002 г. отрицательная и статистически значимая только в июне: коэффициент корреляции составил соответственно -0,64 и -0,69. В остальные месяцы теплого периода связь температуры и осадков, ГТК и температуры положительная, но статистически незначимая. Это может свидетельствовать о том, что климат Республики Беларусь в эти месяцы напоминал тропический. В 2010 г. коэффициенты парной корреляции температуры и осадков в большинстве случаев (июнь, июль, август) отрицательные и статистически значимые (-0,29 – -0,65). Гидротермический коэффициент связан с температурой отрицательно и в большинстве случаев связи статистически значимы (-0,35 – -0,69).

В годы с крупными засухами связь температуры воздуха и осадков, как правило, отрицательная и соответствует условиям зависимости температуры и осадков в степной, полупустынной и пустынной зонах.

Пространственно-временные особенности изменения температуры и осадков в экстремальные влажные и холодные периоды. Рассмотренные ниже 1977 и 1978 гг. были средними по экстремальности из пяти выбранных лет. Однако это единичный случай более чем за 50 лет, когда наблюдается подряд два влажных и холодных года.

Температуры воздуха в мае и июне 1977 г. оказались близкими к норме, чем собственно этот год и отличался от 1978 г. Во второй половине лета и начале осени (июль–август, сентябрь) на западе страны температура была несколько ниже, чем на востоке, т. е. понижение температуры было более выраженным для западной части территории Беларуси (июль, сентябрь).

В 1978 г. отрицательные аномалии температуры в мае–сентябре оказались на юге несколько большими, чем на севере страны (на

0,3–0,2 °C). Особенно крупные отрицательные аномалии температуры наблюдались на востоке Брестской и западе Гомельской области (Лунинец, Давид-Городок, Житковичи). Здесь же в течение большей части теплого периода года выпадало много осадков. Следует отметить, что в последние два десятилетия для этого района характерно увеличение количества осадков в теплое время года. Локальный максимум осадков может быть связан с большой лесистостью данной территории и более выраженной ролью местного испарения с водно-болотного комплекса «Булев Моз – Озеро Червонное», а также особенностями рельефа местности севера Украины, которые оказывают влияние на южный перенос воздушных масс.

В целом почти на всей территории страны количество осадков в мае–сентябре 1977 г. находится в интервале 100–200 мм в месяц. Для всех месяцев, кроме июля, было характерно наличие широтного расположения ложбин, наиболее глубокая ложбина стационировала большую часть теплого периода в широтном поясе 52,5–54°с.ш. И только в июле наблюдалось долготное расположение ложбины. Гидротермический коэффициент оказался максимальным в июле (4–5,5) в центральных частях Минской и Гродненской областей.

В 1978 г. максимальное количество осадков выпадало в мае, июле и сентябре, т.е. наблюдалась квазидвухмесячная цикличность осадков. Об этом свидетельствуют разности нормированных значений осадков в соседние месяцы. Баричская ложбина сместилась в западном направлении: с меридианов 28–30,5° на меридианы 27–26°. В конце весны–начале лета больше осадков выпадало на востоке страны, тогда как в июле–сентябре максимум осадков сместился на центральную и западную часть страны. Положительная аномалия осадков (150 % и более) охватила практически всю территорию Витебской, Минской и Гродненской областей (рис. 4). Особенно аномально влажным был сентябрь. В этот год на большей части территории страны и особенно в северо-западных ее районах сложились очень плохие условия уборки урожая.

Пространственное распределение гидротермического коэффициента в 1978 г. в значительной степени отвечает распределению осадков.

Как видно из рис. 5 и 6, в 1977 г. изолинии сумм температур выше 10 °C, характерные для центральной агроклиматической области, были сдвинуты относительно ее средних границ на юг, Южная агроклиматическая область сдвинулась в южном направлении на территорию Украины. В 1978 г. климатические условия вегетационного периода на территории Беларуси отвечали условиям периода вегетации в Северной агроклиматической области.

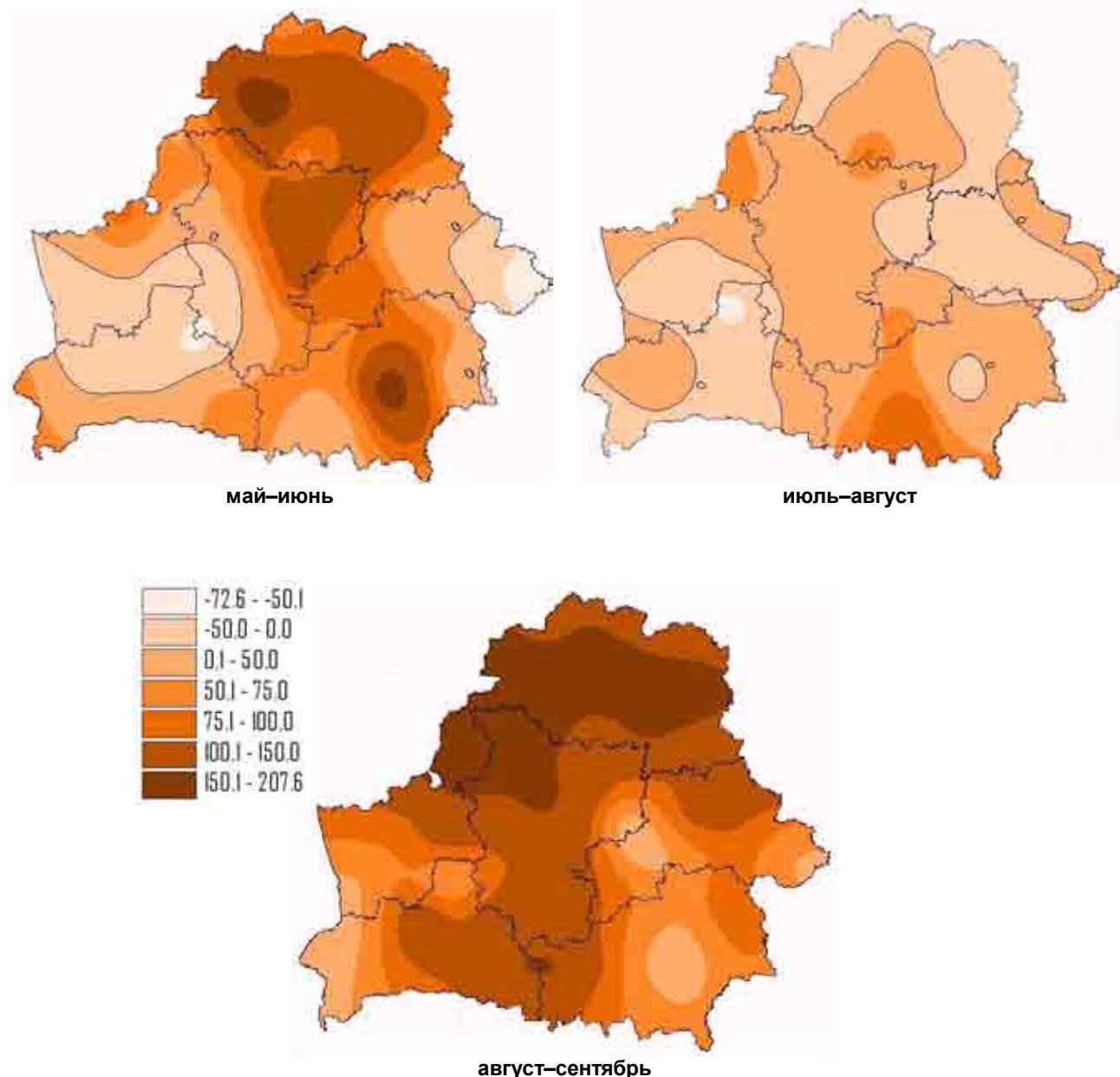


Рис. 4. Разность нормированного (приведенного к среднему многолетнему значению) количества осадков в различные месяцы вегетационного периода 1978 г. (%)

Отрицательные аномалии сумм температур в 1977 г. были вытянуты в меридиональном направлении вдоль 20–28°в. д. В 1978 г. выявлена «пестрота» в распределении аномалий сумм активных температур. Наиболее выраженный район отрицательных аномалий отмечается на востоке Брестской области.

Анализ коэффициентов парной корреляции показал, что только в июле 1977 г. температура и осадки, а также температура и ГТК связаны между собой отрицательной связью.

Изменение урожайности основных сельскохозяйственных культур на территории Беларуси в экстремальных погодных условиях. Как отмечалось выше, в среднем

аномалии температуры воздуха в засушливые годы (особенно в июле–августе) выше, чем во влажные. Чтобы выяснить, какая группа лет более критична для урожайности основных сельскохозяйственных культур, рассчитаны ее отклонения от агротехнического тренда за период 1960–2010 гг.

Следует отметить, что такой подход к определению потерь урожаев в определенной мере субъективен и зависит от выбранной для выравнивания динамических рядов функции. При аппроксимации рядов урожайности зерновых культур, сахарной свеклы и льна-долгунца нами использована параболическая зависимость, кукурузы на силос и картофеля – полином 3-й степени.

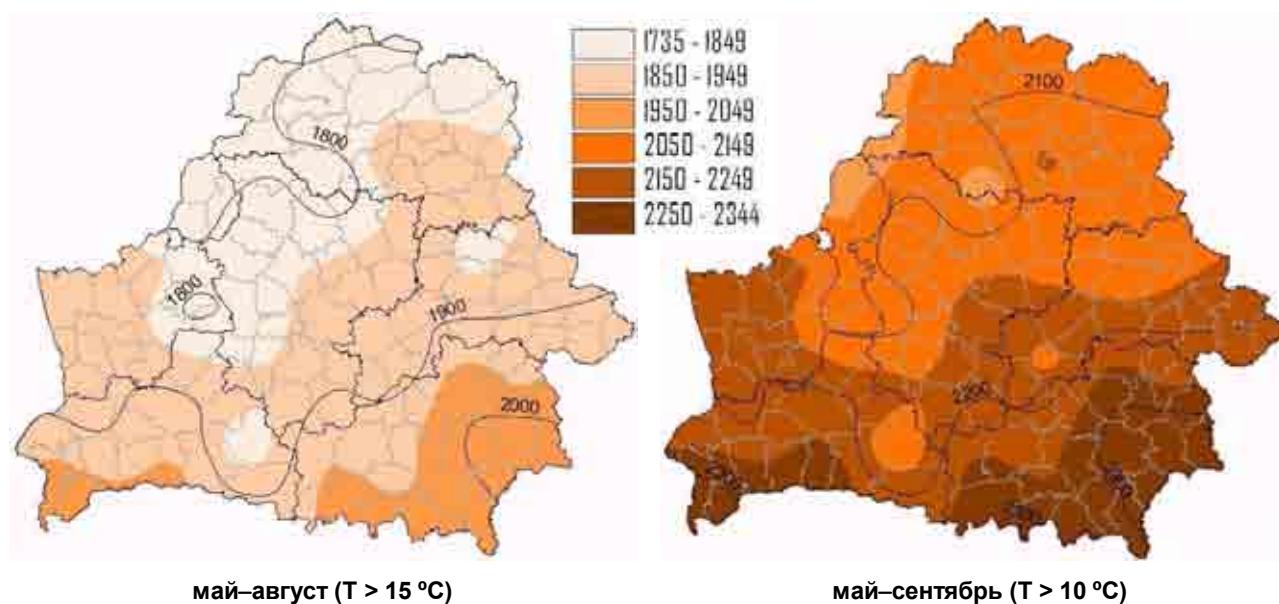


Рис. 5. Суммы температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в периоды со среднесуточной температурой воздуха выше 15 и 10 $^{\circ}\text{C}$ в 1977 г.

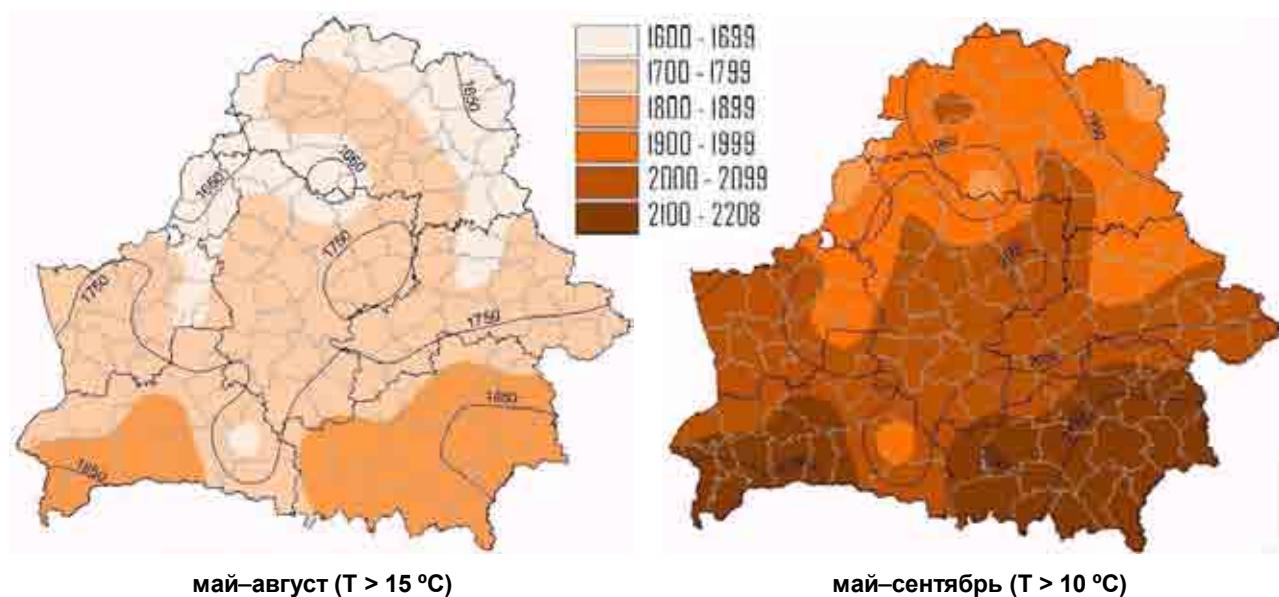


Рис. 6. Суммы температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в периоды со среднесуточной температурой воздуха выше 15 и 10 $^{\circ}\text{C}$ в 1978 г.

Во временном ходе отклонений урожайности многих культур (зерновых, льна) заметны более крупные 10–15-летние колебания, а также 2–4-летние колебания. Минимальные значения урожайности характерны для зерновых культур в 1964, 1980 и 1999 гг., для льна – также 1990 г. Наименьшие значения урожайности зерновых культур только частично совпали с выбранными экстремальными годами (1980 и 1999 гг.). Сильное снижение урожайности в 1964 г. было связано не только с погодно-климатическими условиями, но и с

другими факторами (нарушениями агротехники, административными решениями и т. д.). Изменение отклонений урожайности картофеля, сахарной свеклы и кукурузы на силос имеет более сложный характер, так как эти культуры более требовательны к тепло- и влагообеспеченности и более чувствительны к экстремальным погодным условиям. Это подтверждается приведенными ниже результатами исследований.

Выбранные 5 лет с экстремальными влажными и холодными условиями в период вегета-

ции наблюдалась в первое 20-летие анализируемого периода, тогда как 5 лет с экстремальными засушливыми условиями – в последнее 20-летие. Среди отобранных лет можно выделить годы со значительным снижением урожайности всех или большинства рассмотренных культур по сравнению с трендовой урожайностью: 1962, 1980 и 1999 гг.

Снижение средней по Беларуси урожайности на 20 % и более для зерновых культур, картофеля, кукурузы на силос наблюдается в отдельные влажные и засушливые годы, тогда как значительные потери урожая льна-долгунца и сахарной свеклы чаще отмечаются в годы с засухами (рис. 7, 8).

Наибольшая величина снижения урожайности озимых зерновых культур и сахарной свеклы

яровых зерновых, льна-долгунца характерна для засушливых лет: соответственно 34,2–37,2 %, 44,8–46,5 %, 50,5 %. Максимальные потери урожайности картофеля (37,2 %) и кукурузы на силос (82,6 %) отмечены во влажные годы. В большинстве засушливых лет их величина составила для картофеля 29,2–34,8 %, для кукурузы на силос – 14,2–54,6 %.

Из рис. 7 видно, что урожайность зерновых культур в 1977 г. выше тренда. Это может быть связано с недостатками методики по выделению трендовой компоненты в урожайности. Надо учесть и то обстоятельство, что 1977 г. относится к доперестроечному периоду, когда технология сельскохозяйственного производства оставалась достаточно высокой.

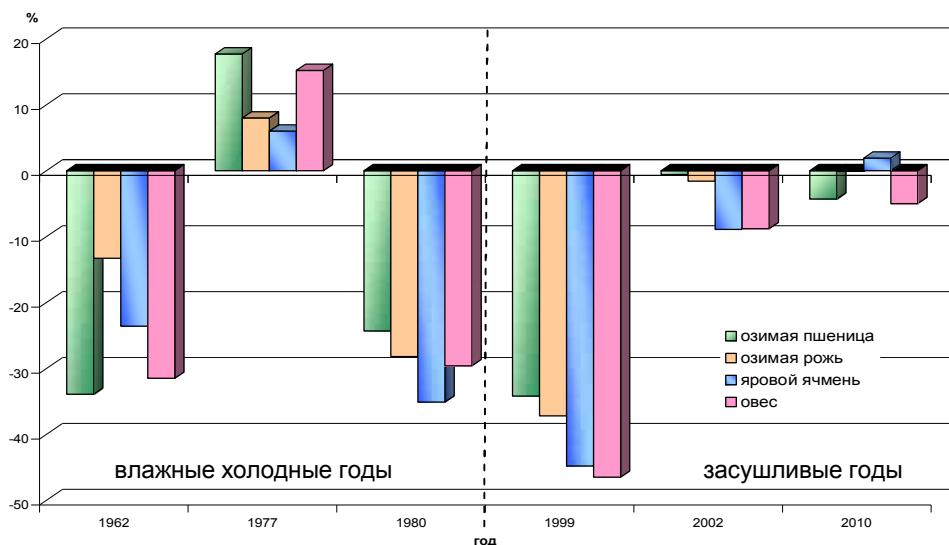


Рис. 7. Отклонения урожайности зерновых культур от тренда в годы с экстремальными явлениями

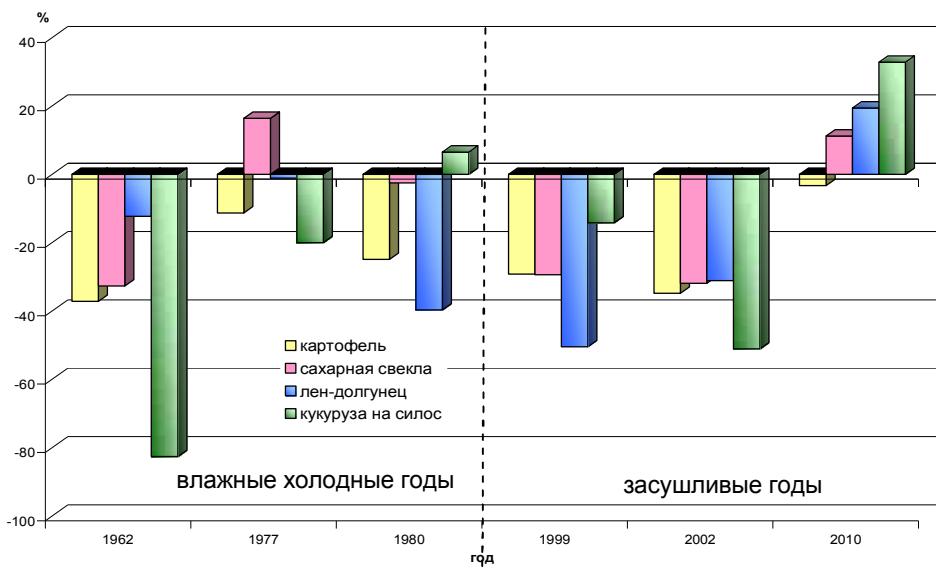


Рис. 8. Отклонения урожайности основных пропашных культур, льна-долгунца и кукурузы на силос от тренда в годы с экстремальными явлениями

Как показали результаты исследования, засуха 2010 г. в меньшей степени затронула наиболее развитую в сельскохозяйственном отношении западную часть страны, поэтому средняя урожайность сельскохозяйственных культур в Беларуси оставалась достаточно высокой. Кроме того, в последние годы улучшилась технология сельскохозяйственного производства, что уменьшило его зависимость от погодно-климатических условий. Возможно, существуют и другие причины, которые здесь не обсуждаются, так как находятся вне проблемы влияния погодно-климатических факторов на сельскохозяйственное производство, но которые создавали ряд особенностей в характере полученных зависимостей.

Исходя из существующих сценариев климата [2, 3], аналогичные 2010 г. средние климатические условия будут наблюдаться через 20–25 лет. В связи с этим для периода 2030–2035 гг. более эффективным будет использование засухоустойчивых сортов зерновых культур, а также появится возможность более широкого использования сельскохозяйственных угодий под кукурузу, о чем свидетельствует высокая ее урожайность в 2010 г. даже на севере Беларуси. Во влажные прохладные годы следует скорее ориентироваться на выращивание основных для Беларуси озимых и яровых зерновых культур, сахарной свеклы, льна.

Л и т е р а т у р а

1. **Бровка, Ю. А.** Региональная агроэкологическая оценка неблагоприятных погодно-климатических условий на территории Беларуси : дис. ... канд. геогр. наук / Ю. А. Бровка. Минск, 2007.
2. **Дроздов, О. А.** О связи увлажненности с термическим режимом / О. А. Дроздов // Тр. Гос. гидролог. ин-та. 1979. № 257. С. 13–23.
3. **Логинов, В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. Минск, 2008.
4. **Логинов, В. Ф.** Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. Минск, 2012.
5. **Ляшенко, Г. В.** Агроклиматическое районирование Украины / Г. В. Ляшенко // Укр. гідрометеоролог. журн. 2008. № 3. С. 98–108.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 27.02.2012

В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ИЗМЕНЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В статье исследованы пять самых крупных засушливых явлений и пять холодных и влажных периодов с 1960 по 2011 г. Экстремальные погодно-климатические аномалии сформировались во влажные и холодные годы (1962, 1974, 1977, 1978 и 1980 гг.) и в засушливые годы (1992, 1994, 1999, 2002 и 2010 гг.). Выполнен пространственно-временной анализ отклонений температуры воздуха и количества осадков от нормы, сумм активных температур выше 10 и 15 °C и их отклонений от нормы, гидротермического коэффициента. В отдельные годы наблюдались сверхэкстремальные засушливые (2002, 2010 гг.) и холодные влажные периоды (1977, 1978 гг.).

Согласно результатам исследования, максимальные положительные и отрицательные температурные аномалии наблюдаются соответственно в засушливые годы в июле (до +3,0–+3,5 °C), а во влажные годы – в мае (около -2,0 °C) и июле (до -2,0 °C). В среднем аномалии температуры воздуха по абсолютной величине в засушливые годы (особенно в июле–августе) выше, чем во влажные. В выбранные влажные и засушливые годы соответственно аномально избыточное или недостаточное увлажнение (количество осадков, ГТК) особенно характерно для июля. Разность сумм температур выше 10 °C в засушливые и влажные прохладные годы на большей части территории Беларуси достигает более 400 °C. Беларусь во влажные годы оказывается в условиях, характерных для Северной агроклиматической области, а в засушливые – в условиях Южной агроклиматической области нашей страны и северо-запада Украины.

Для оценки критичности засушливых и влажных прохладных условий вегетации для урожайности сельскохозяйственных культур Беларусь рассчитаны ее отклонения от тренда. Снижение средней по Беларусь урожайности на 20 % и более для зерновых культур, картофеля, кукурузы на силос наблюдается в отдельные влажные и засушливые годы, тогда как значительные потери урожая льна-долгунца и сахарной свеклы чаще отмечаются в годы с засухами.

V. F. Loginov, J. A. Brovka

EXISTENTIAL FEATURES OF THE FORMATION OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION EXTREME ANOMALIES AND THEIR DISPLAY IN THE CHANGE OF PRODUCTIVITY OF BASIC AGRICULTURAL CROPS IN BELARUS

Five largest droughty phenomena and five cold and damp periods from 1960 to 2011 were studied in the article. Extreme weather-climatic anomalies formed in damp and cold years (1962, 1974, 1977, 1978 and 1980) and in droughty years (1992, 1994, 1999, 2002 and 2010). The existential analysis of deviations of air temperature and precipitation quantity from the norm, of the sums of active temperatures above 10 and 15 °C and their deviations from norm, of hydrothermal factor was made. In separate years super-extreme droughty (2002, 2010) and cold damp periods (1977, 1978) were observed.

According to research results, the maximum positive and negative temperature anomalies are observed accordingly in drought years in July (to +3,0 – +3,5 °C), and in damp years – in May (about -2,0 °C) and July (to -2,0 °C). On the average the air temperature anomalies in absolute value in drought years (July–August especially) are higher than in damp ones. In the chosen damp and drought years accordingly, the abnormally superfluous or insufficient wetting (precipitation amount) is especially characteristic for July. The difference of the sums of temperatures above 10 °C in droughty and damp cool years on greater part of Belarus territory reaches more than 400 °C. Belarus in damp years gets into conditions, characteristic for Northern agro-climatic area, and in droughty – in the conditions of Southern agro-climatic area of our country and the Northwest of Ukraine.

To estimate criticality of droughty and damp cool conditions of vegetation for agricultural crops production in Belarus, its deviations from a trend have been calculated. The reduction of average yield productivity by 20 % and more for grain crops, potato, silo corn is observed in Belarus in separate damp and drought years whereas considerable losses of crops of long flax and sugar beet are more often marked in drought years.

УДК 551.583

В. С. Микуцкий

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ВРЕМЕННОЙ РАЗВЕРТКИ

Представлен метод временных диаграмм – визуализации сложных процессов путём их временной развёртки. С помощью этого метода исследуется структура климатических величин, возникающих при скользящем увеличении интервала осреднения среднесуточных температур и суточных осадков – от одного дня до года, а также проводится изучение внутригодового хода норм и среднеквадратических отклонений значений температуры и осадков Беларуси 30-дневного осреднения.

Сложность климатической системы требует применения комплексного подхода к изучению соответствующих процессов. И если в области обработки больших наборов климатических данных имеется набор различных методов, например, многомерного статистического анализа (метод естественных ортогональных составляющих, дисперсионный анализ, факторный анализ и др. [7]), то по части наглядности представления полученных результатов существуют определённые проблемы ввиду больших размерностей полученных выходных массивов информации. Большой объём обрабатываемых данных делает затруднительным проведение содержательных оценок полученных результатов. Одним из путей решения проблемы может послужить широкое применение метода графической развёртки двумерных зависимостей. Примером таких диаграмм могут быть диаграммы вейвлет-анализа [3] и спектрально-временного анализа (СВАН-диаграммы) [1, 2]. Их особенностью является использование графиков двумерных поверхностей в трехмерном пространстве либо контурных диаграмм тех же поверхностей, а также наличие временной оси для отслеживания временной динамики исследуемого процесса.

В случае спектрально-временного анализа при построении СВАН-диаграмм функция амплитудного спектра процесса $A = A(v)$ подвергается временной развёртке $A = A(v, t)$, где v – частота; t – середина скользящего временного окна, для которого проводится спектральный анализ [1, 2]. Визуализация результатов СВАН-анализа возможна в виде графика поверхности функции A либо в виде контурной диаграммы этой же поверхности. Последнее представление и носит название спектрально-временной диаграммы, СВАН-диаграммы. В этом случае название диаграммы определяется названием функции и осью Ox – временным аргументом t , в то время как ось Oy является осью изменения аргумента функции – частоты v . Таким образом, мы имеем временную развертку функции $A = A(v)$. В нашей

работе мы также будем использовать подобные временные развертки трёх скалярных функций одного аргумента, описание которых приведём ниже.

Возможности метода временной развертки рассмотрим на примерах, имеющих самостоятельное значение и связанных с такими двумя важными статистиками, используемыми при анализе данных, как среднее и стандартное отклонение.

Будем предполагать наличие многолетнего временного ряда суточных значений исследуемой метеовеличины. Описанный ниже метод не предполагает каких-либо ограничений на переменные, однако в нашем случае мы будем использовать ряды среднесуточных температур T или суточных осадков P по 41 станции наблюдения сети гидрометеослужбы за период начиная с 1945 г. По исходным рядам было проведено осреднение по всей территории Беларуси, полученные ряды среднесуточной температуры и суточных осадков и служили в качестве объекта исследования.

В климатологии обычным является использование таких показателей, как суммы годовых, сезонных или месячных осадков, среднегодовых, -месячных, -декадных или -пентадных температур. Выбор указанных периодов осреднения является устоявшимся практикой, хотя, за исключением годового периода, в значительной степени носит субъективный характер и не имеет физического обоснования. В качестве примера объективного выбора интервала осреднения можно привести работу [8], где обосновывается предпочтительность по сравнению с месячным выбором 27-суточного интервала осреднения температур, что связывается с влиянием активных центров Солнца и позволяет сократить статистический шум в климатологических рядах на 3–6 %.

Избавиться от неизбежных ограничений субъективного выбора фиксированного интервала при вычислении статистики позволит одновременное рассмотрение всех возможных ин-

тервалов от одних суток до года. В дальнейшем для возможности сравнения количества осадков, выпавших за разные интервалы времени, вместо суммы осадков будем рассматривать среднесуточное количество осадков, выпавших за данный интервал. В соответствии со сказанным обобщение данных в дальнейшем будем производить только путём осреднения.

Рассмотрим три статистические функции: $f_0(\Delta)$ – осреднение по интервалу длиной Δ последовательных дней, $\Delta = 1, \dots, 365$, и моменты первого и второго порядка $f_1(d)$ и $f_2(d)$. Статистические моменты (нормы и среднеквадратические отклонения) обычно вычисляются для данных месячного макета. Фиксированный выбор месячного интервала не позволяет, однако, отслеживать межмесячную изменчивость метеопараметров. Чтобы обойти это ограничение, рассмотрим вместо фиксированных месячных промежутков скользящее 30-дневное окно.

Обозначив через $d = 1, \dots, 365$ номер произвольного дня года, под $f_1(d)$ будем понимать 20-летнюю норму такого 30-дневного окна, окончание которого приходится на d -й день года. Соответственно, $f_2(d)$ будет обозначать среднеквадратическое отклонение среднего указанной 30-дневки.

Необходимо заметить, что выбор периода для расчёта норм носит экспертный характер. Так, согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации для этих целей по-всеместно используется 30-летний период 1961–1990 гг. В нашей более ранней работе [6] использовался 20-летний период. Отметим, что в последнее время появились предложения ежегодного пересчёта норм [4], причём длина периода для расчёта нормы совпадает с нашей. Однако введение временных развёрток $f_1(d, y)$ и $f_2(d, y)$ описанных выше функций $f_1(d)$ и $f_2(d)$ позволяет изучить вопрос более предметно.

Опишем соответствующие временные развёртки. Функция $f_0(\Delta, t)$ представляет собой среднее Δ -суточное значение исследуемой метеопараметрической величины на момент времени t – день (номер дня от начала периода). Так, при исследовании температур $f_0(31, 31$ января 2003 г.) будет обозначать среднюю температуру января 2003 г., $f_0(5, 31$ января 2003 г.) и $f_0(10, 31$ января 2003 г.) – средние температуры последней пентады и, соответственно, декады января того же года, а $f_0(365, 31$ декабря 2003 г.) – среднюю температуру 2003 г. Зафиксировав длину интервала осреднения $\Delta = \Delta^0$, получим скользящее среднее (Δ^0 -суточное) $f_0(\Delta^0, t)$ метеопараметрической величины, фиксация $t = t_0$ даст нам набор средних значений метеопараметра $f_0(\Delta^0, t^0)$ для разных интервалов осреднения $\Delta = 1, 2, 3, \dots$ суток в данный момент

времени t . Плавное изменение аргумента t даёт возможность оценить влияние разного масштаба осреднения на исследуемую величину в течение всего исследуемого периода для индикации динамики климатической системы и её составляющих.

Развёртки $f_1(d, y)$ и $f_2(d, y)$ функций $f_1(d)$ и $f_2(d)$ отличаются от исходных только тем, что соответствующие им обобщения метеопараметров происходят для конкретного года y . Так, для температур значение $f_1(30$ апреля, 2000 г.) равно среднемесячной температуре апреля за период 1981–2000 гг., а $f_2(15$ мая, 2003 г.) – среднеквадратическому отклонению средней температуры периода с 16 апреля по 15 мая за период 1984–2003 гг.

Во всех трёх случаях очевидным образом строятся диаграммы, аналогичные СВАН-диаграммам. Такие диаграммы дадут возможность визуализации плавных переходов от одного интервала осреднения к другому в течение года и их динамики при переходе от года к году.

Первая временная развёртка (f_0) проводится по дням всего анализируемого временного интервала – от первого до последнего года, вторая и третья (f_1, f_2) – по анализируемым годам.

С учётом того, что функция $f_1(\Delta)$ является функцией осреднения по интервалу Δ , $f_2(d)$ – норма и $f_3(d)$ – среднеквадратическое отклонение (σ) на данный момент времени d , в зависимости от контекста можно предложить следующие названия соответствующих диаграмм: либо просто диаграммы расширенного временного анализа, либо по аналогии с диаграммами спектрально-временного анализа (по функции и времени t):

- диаграммы временного анализа осреднений (ВАНО) – для f_0 ;
- диаграммы временного анализа норм (ВАНН) – для f_1 ;
- диаграммы временного анализа среднеквадратических отклонений (ВАНСИГМА) – для f_2 .

Ограниченные размеры публикации не позволяют в полном объёме проиллюстрировать полученные результаты, поэтому не все выводы, содержащиеся в тексте, подкреплены соответствующими диаграммами. Однако и приведённые иллюстрации дают достаточно полное представление о методе и результатах исследования.

Временной анализ осреднений температуры и осадков. Приведённые диаграммы позволяют оценить влияние интервала осреднения на значения соответствующих статистических характеристик, а также динамику этих характеристик. На рис. 1 и 2 приведены временные диаграммы значений температуры и осадков при разных интервалах осреднения Δ . Значения Δ отложены по оси Оу.

Характерной особенностью диаграмм является сильная флюктуированность значений температуры и осадков при малых масштабах осреднения Δ . При увеличении Δ происходит естественное сглаживание осреднённых значений метеопараметра для различных периодов каждого года и для различных лет в совокупности. На диаграммах отчётливо выделяются температурные выбросы. Каждый из таких выбросов обуславливает появление характерного перевёрнутого треугольника, вершина которого лежит на временной оси Ox , пересекая её в точке выброса. Наклон правой стороны треугольника объясняется влиянием выброса на средние значения последующих периодов, при расчёте которых учитывается данный выброс. Уменьшение чёткости границ каждого треугольника при увеличении интервала осреднения Δ позволяет судить о степени влияния каждого выброса на осреднённые значения при разных масштабах осреднения. Так, сильные низкотемпературные выбросы наблюдались в 1986, 1993, 1996, 1998 гг., их влияние сказалось на всех последующих осреднённых значениях вплоть до годовых.

Временные диаграммы значений среднесуточной температуры для 2010 г. при разных интервалах осреднения приведены на рис. 1, в и г. Параллельное использование диаграммы с окаймлением (так называемая полосчатая легенда, легенда с окаймлением – banded legend) позволяет выявить отклонения от линейности при осреднении данных, не идентифицируемые на обычной диаграмме. Кроме того, здесь более чётко выделяются межсуточные флюктуации температуры (при малых Δ). На рис. 1, б представлены результаты временного анализа осреднений в полуторамесячном разрешении. На ней особо отчётливо заметно чередование в течение года дней с высокой и низкой температурой и их влияние на средние значения температуры вплоть до 48-дневного осреднения.

На рис. 2 приведена временная диаграмма среднесуточных значений осадков при разных масштабах осреднения $\Delta = 1, \dots, 365$ за пятилетний период с 1954 по 1958 г. и отдельно взятый 1950 г.

В силу большей вариабельности осадков соответствующие диаграммы диагностируют большее количество выбросов – перевёрнутых треугольников. Особо выделяются 50-е годы прошлого столетия, 1988, 1990, 1993, 1998 и 2000 гг. Рис. 2 ясно демонстрируют большой разброс суточных значений осадков (масштаб осреднения $\Delta = 1$). При увеличении Δ происходит плавное сглаживание значений осреднённых среднесуточных осадков вплоть до почти полной однородности при годовом осреднении.

Временной анализ статистических характеристик климатических параметров. Одним из свойств меняющегося климата являет-

ся изменчивость климатических параметров от года к году. Известны сезонные закономерности изменения месячных норм и среднеквадратических отклонений температуры и осадков [5]. В данном разделе проводится изучение 20-летних норм и среднеквадратических отклонений температуры и осадков для скользящего 30-дневного окна (см. описанные выше функции $f_1(d, y)$ и $f_2(d, y)$). Применение временных диаграмм указанного типа позволяет перейти от дискретного, месячного, представления результатов к непрерывному и даёт возможность провести детализированный анализ с получением комплексных оценок исследуемых величин.

При анализе межгодовой динамики 20-летних норм температуры 30-дневок по Беларуси за период до середины 1990-х годов отмечается увеличение 30-дневноосреднённых температур в середине зимы и в весенние месяцы (что согласуется с преимущественно зимне-весенним характером современного потепления) и некоторое похолодание в конце осени и начале зимы (рис. 3, г). Кроме того, диагностируется небольшое похолодание в начале лета. Последующий период отмечен потеплением в самое тёплое время года – с середины июня до середины августа. С другой стороны, темп весеннего потепления несколько замедлился, нормы температуры зимних 30-дневок имеют тенденцию к стабилизации.

На рис. 3, а–в приведены диаграммы межгодового хода 20-летних норм для среднесуточных (в 30-дневном осреднении) осадков периода 1965–2010 гг. Как видно, максимальные нормы осадков характерны для середины лета, минимальное количество осадков выпадает с серединой января до середины марта, причём в последние годы скользящие 20-летние нормы осадков имеют тенденцию к повышению во второй половине февраля.

Со второй половины 1990-х годов наблюдается тенденция к небольшому повышению 20-летних норм. Необходимо отметить достаточно существенное увеличение с начала 1990-х до середины 2000-х годов норм начала июля – первой половины августа. На графике поверхности (рис. 3, б) виден прогиб гребня, относящийся к середине 1990-х годов и говорящий о некотором падении норм осадков летом с последующим их повышением вплоть до настоящего времени.

Рис. 3, в демонстрирует подробности поведения норм осадков скользящих 30-дневок для весны. 20-летние нормы с конца зимы до середины апреля испытывали заметный спад в конце 80-х годов прошлого столетия и последующее постепенное увеличение вплоть до настоящего времени. Заметны неравномерности в динамике норм конца февраля, конца апреля, конца августа – начала сентября, октябряского периода.

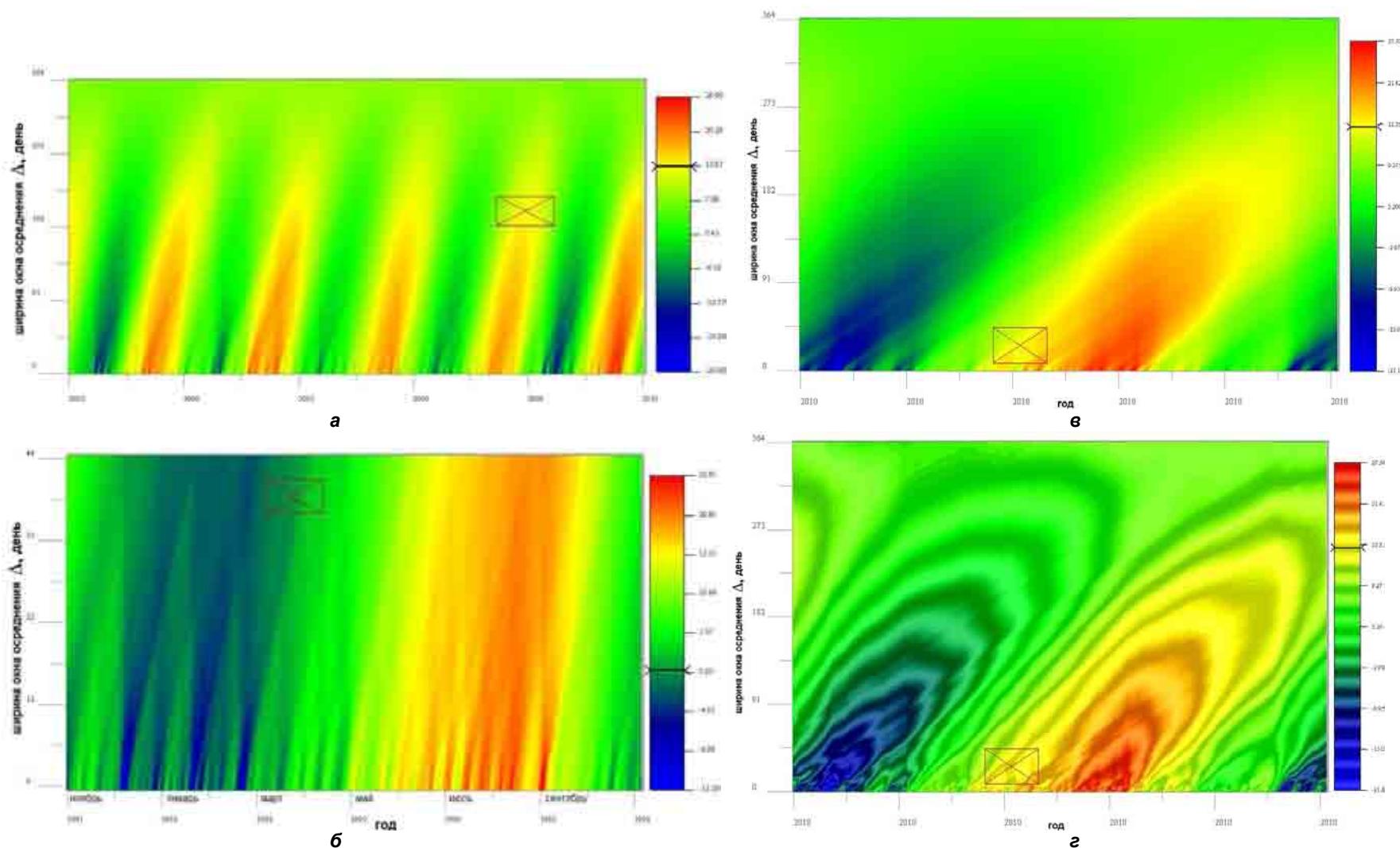


Рис. 1. Временные диаграммы значений температуры при разных интервалах осреднения Δ (от дня до года):
 а – диаграмма с годовой шкалой осреднения ($\Delta = 1, \dots, 365$), 2005–2009 гг.; б – диаграмма с полуторамесячной шкалой осреднения ($\Delta = 1, \dots, 48$), 1992 г.;
 в – обычная диаграмма, 2010 г.; г – диаграмма с окаймлением легенды, 2010 г.

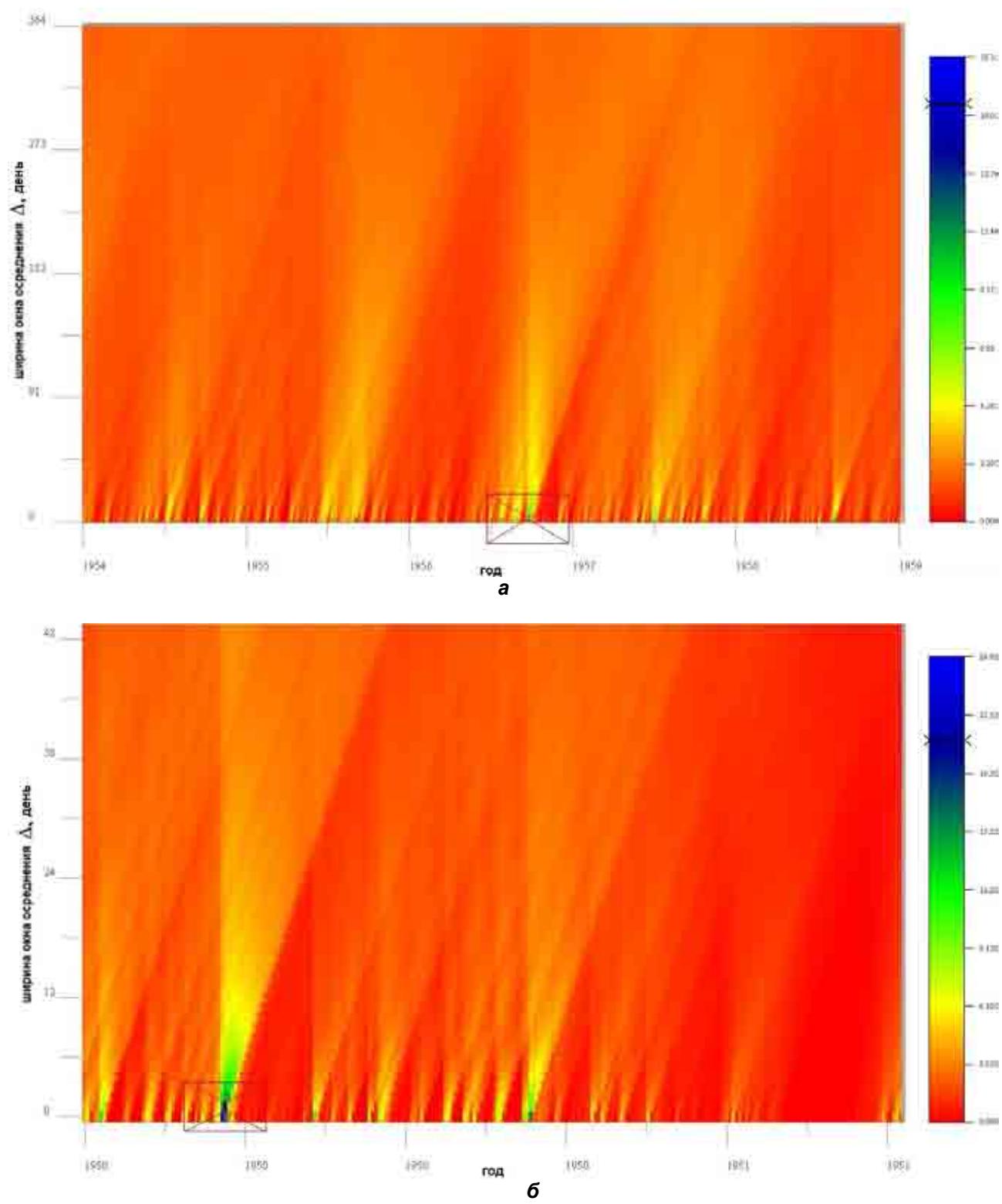


Рис. 2. Временная диаграмма среднесуточных значений осадков при разных интервалах осреднения Δ (от дня до года): а – диаграмма за пятилетний период 1954–1958 гг.; б – диаграмма с 48-дневной шкалой осреднения, $\Delta = 1, \dots, 48$, период 1950 г. – начало 1951 г.

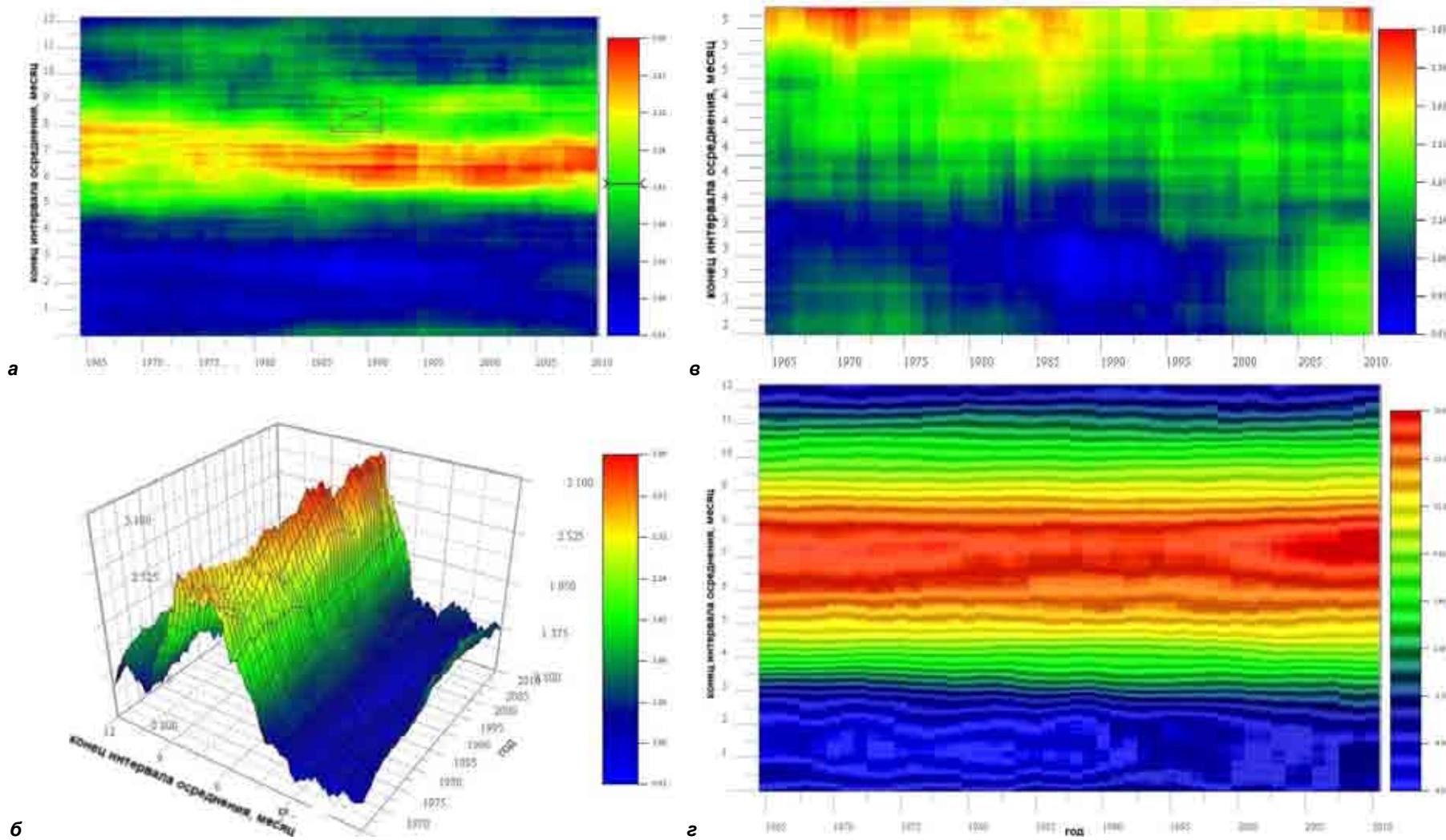


Рис. 3. Временные диаграммы 20-летних норм осадков и температуры по скользящим 30-дневкам:
а – осадки, изолинейная диаграмма; б – осадки, график поверхности; в – осадки, весна;
г – температура (легенда с окаймлением). Период 1965–2010 гг.

Временные диаграммы скользящих среднеквадратических отклонений температуры и осадков для 30-дневных интервалов за период 1965–2010 гг. приводится на рис. 4. Очевидно увеличение изменчивости температуры с серединой зимы до второй половины марта начиная с 1980-х годов; после 2005 г. эта тенденция сменила знак. В то же время отмечается небольшое уменьшение изменчивости в конце осени (вплоть до середины 1980-х годов) и второй половине декабря (до начала 2000-х годов). С начала 1990-х годов происходит заметный рост изменчивости во второй половине ноября, этот процесс захватывает сначала первую половину декабря, а затем и весь декабрь. В течение всего периода испытывает колебания изменчивость апреля и июня – первой половины июля. Конец лета характеризуется относительной устойчивостью к изменчивости температуры. Необходимо отметить такую интересную особенность временной диаграммы скользящих 20-летних среднеквадратических отклонений температуры для

30-дневных окон, как наличие «впадины» между высокими значениями σ в середине февраля.

Разброс осредненных по 30-дневкам значений суточных осадков демонстрирует рис. 4, б. Здесь мы видим две выделяющиеся зоны значений среднеквадратических отклонений σ . Это период слабых отклонений, относящийся к середине февраля, и период сильных отклонений в первой половине июля. Такое поведение изменчивости осадков естественно согласуется с динамикой их средних значений (см. рис. 3). Из характерных особенностей можно отметить некоторое уменьшение разброса осадков в апреле, наиболее заметное во второй его половине, и в конце ноября. Последний вывод отмечался и в [6]. Однако сдвиг на середину декабря меняет ситуацию, поскольку этот интервал в последние годы отличается небольшим повышением разброса. В остальном картина среднеквадратических отклонений осадков характеризуется большой пестротой и неустойчивостью.

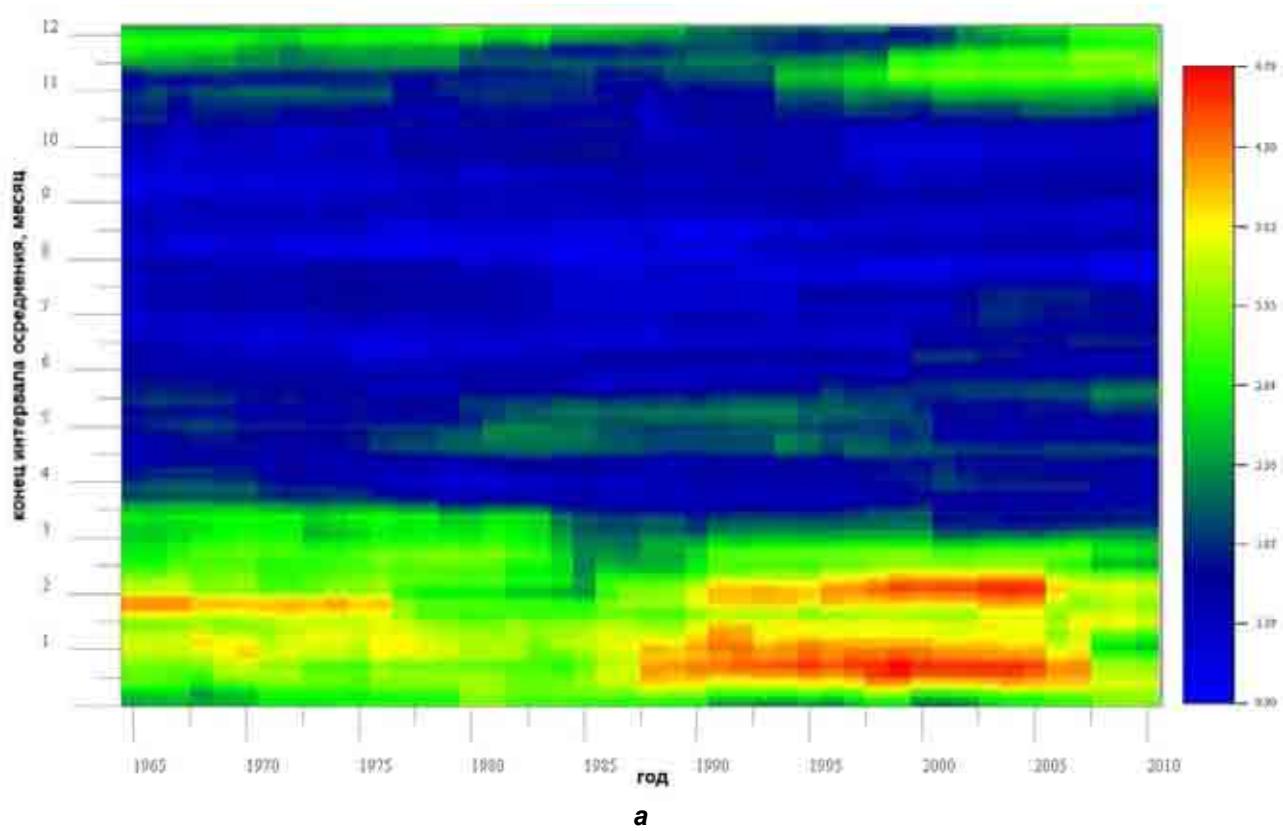
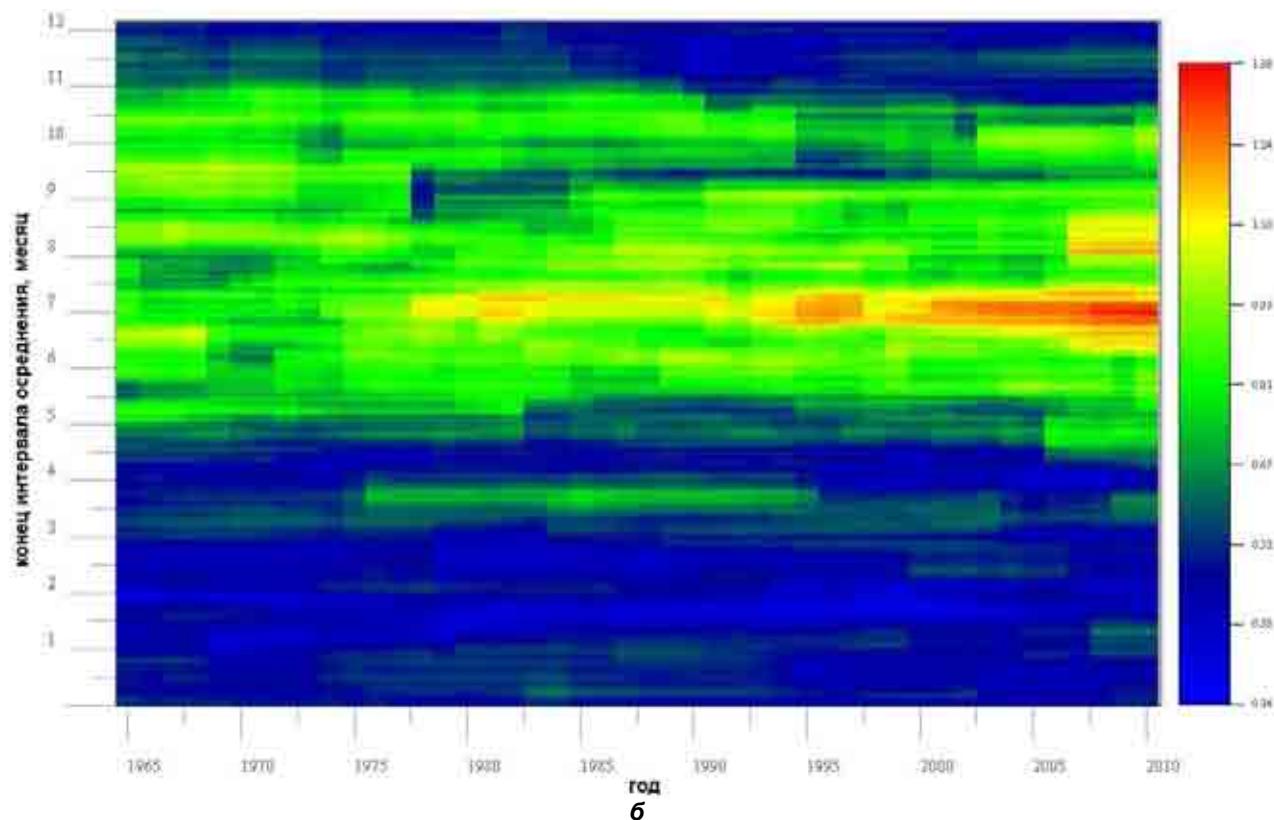


Рис. 4. Временные диаграммы межгодового хода среднеквадратических отклонений по 30-дневкам:
а – температура, б – осадки. Период 1965–2010 гг.



Окончание рис. 4

Заключение. В работе предложен новый метод визуализации динамики климатических данных и таких их статистических характеристик, как норма и среднеквадратическое отклонение – диаграммы временного анализа специального вида. На основе этого метода проведён временной анализ осреднений (от одного дня до года) температуры и осадков. Исследованы некоторые характерные особенности поведения таких диаграмм, рассмотрены разные их типы, показано влияние выбросов на общую картину. Отдельно был проведён временной анализ межгодовой изменчивости статистических моментов среднесуточных температур и осадков в их 30-дневном осреднении. Выделены отдельные периоды

уменьшения и увеличения норм и разброса этих климатических величин за период с 1980 г.

Практический смысл данному исследованию придаёт описание поведения температуры и осадков в Беларуси на основе комплексной оценки меж- и внутригодовой динамики статистических характеристик климатических переменных. Гибкость предложенной методики осреднения и визуализации временных рядов позволяет приложить данный математический аппарат к исследованию других климатических переменных, оценить влияние различных масштабов осреднения на выходные данные. Результаты исследования могут оказаться полезными в смежных областях, учитывающих современные тенденции климата.

Л и т е р а т у р а

1. Атлас временных вариаций природных процессов. Т. 1 : Порядок и хаос в литосфере и других сферах / Отв. ред. чл.-корр. РАН А. В. Николаев и А. Г. Гамбурцев. М., 1994. 176 с.
2. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3 : Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. М., 2002.
3. Дьяконов, В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. М., 2002.
4. Зойдзе, Е. К. О проблеме адекватного агрометеорологического обеспечения экономики Российской Федерации в условиях изменения климата / Е. К. Зойдзе [и др.] // Метеорология и гидрология. 2010. № 8. С. 73–86.
5. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Логинова / Ин-т проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларусь. Минск, 2003.

6. Оценка изменения климата Беларуси за последние 15 лет : отчет о НИР / Нац. акад. наук Беларуси ; рук. темы академик В. Ф. Логинов. Минск, 2004. 28 с.
7. Сазонов, Б. И. Суровые зимы и засухи / Б. И. Сазонов. Л., 1991.
8. Шерстюков, Б. Г., Логинов, В. Ф. Короткоперiodные циклические изменения в нижней атмосфере и гелиогеофизические процессы / Б. Г. Шерстюков, В. Ф. Логинов. М., 1980.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 12.03.2012

V. S. Mikutskiy

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ВРЕМЕННОЙ РАЗВЁРТКИ

Сложность климатической системы требует применения новых методов анализа данных. Одним из таких методов может служить предлагаемый метод временных диаграмм – временной развертки двумерных процессов. Стандартным инструментом исследования климатических закономерностей является осреднение климатических параметров в разных временных масштабах. С помощью введенных временных диаграмм исследуется структура величин, возникающих при скользящем увеличении интервала осреднения среднесуточных температур и суточных осадков – от одного дня до года. Такие общеупотребительные производные от наблюдённых величин, как месячные и годовые средние/суммарные их значения или пентадные и декадные значения соответствующих характеристик являются частным случаем предложенного более общего подхода.

Одним из свойств меняющегося климата является изменчивость климатических параметров от года к году. В статье проводится изучение норм и среднеквадратических отклонений осреднённых 30-дневных значений температуры и осадков в их внутригодовом ходе. Применение временных диаграмм и скользящих окон и здесь даёт возможность выявления деталей внутригодовой и межгодовой динамики метеопараметров, не идентифицируемых при использовании месячного макета данных,

Достоинством метода является его применимость для исследования структуры динамики временных рядов любой природы. Ввиду ограниченных размеров публикации полученные результаты проиллюстрированы лишь частично.

V. S. Mikutskiy

ANALYSIS OF CLIMATIC PROCESSES DYNAMICS STRUCTURE WITH THE HELP OF TIME-BASED SWEEP

The climatic system complexity requires application of new data analysis instruments. One of these methods may be a suggested method of temporal diagrams – a time-based sweep of 2D processes. A standard instrument of climatic regularities study is averaging of climatic parameters in various temporal scales. With the help of introduced temporal diagrams the structure of values is investigated, appearing at the sliding increase of the interval of the averaging of mean daily temperatures and daily precipitation – from one day up to a year. Such generally applied derivatives from the observed values as monthly and annual average/total values or pentad and decade indexes of corresponding characteristics are a single case of the proposed more general approach.

One of the features of the changing climate is a variability of climatic parameters from year to year. The study of norms and average-quadratic deviations of the averaged 30-days temperature and precipitation values in their inside-annual course is carried out. The application of temporal diagrams and sliding windows also provides a chance to reveal details of inside-annual and inter-annual dynamics of meteorological parameters, not identifiable when a monthly data layout is applied.

The method advantage is its applicability to investigate a structure of the dynamics of temporal series of any nature. Due to the limited volume of the publication the results obtained are illustrated partially only.

УДК 551.583 (476)

В. В. Коляда

СВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ КООРДИНАТАМИ МЕТЕОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Для территории Беларуси установлена тесная корреляционная связь температурных показателей с географическими координатами метеостанций, наблюдающаяся при климатических масштабах осреднения данных наблюдений. По материалам за 1986–2005 гг. построены уравнения множественной линейной регрессии, описывающие зависимости различных показателей от широты, долготы и абсолютной высоты местности. Показаны возможности использования статистического моделирования для выявления роли климатообразующих факторов и картографирования термических ресурсов Беларуси.

Обусловленность климата местности ее географическим положением – широко известный факт. Это обстоятельство подчеркнуто в определении понятия климат, согласно которому он представляет собой «статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения» [16]. Положение любого объекта на земной поверхности однозначно фиксируют географические координаты (широта и долгота), а при ее трехмерном представлении – еще и абсолютная высота (высота над уровнем моря). Выдающаяся роль географической широты отражена уже в самом термине «климат», который в переводе с греческого языка означает наклон. Речь идет о наклоне солнечных лучей относительно земной поверхности, зависящим от широты местности. Эта зависимость находит выражение в горизонтальной упорядоченности климатических условий – географической зональности, т.е. смене климатических зон от экватора к полюсам. С абсолютной высотой связана вертикальная упорядоченность – высотная климатическая поясность, которая наиболее ярко проявляется в горных районах, но имеет место и в равнинных условиях. И, наконец, рост континентальности климата по мере удаленности территорий от океанических побережий, как правило, связан с изменением долготы. Каждый из указанных типов климатической упорядоченности разрабатывался независимо друг от друга, главным образом, в глобальном масштабе. Так, широкую известность получили периодический закон географической зональности А. А. Григорьева и М. И. Будыко, индекс континентальности климата Н. Н. Иванова, вертикальный градиент температуры воздуха, равный для тропосфера 0,65 °C на 100 м [2, 5, 16].

Принцип трехмерного изучения природной среды (зональность, поясность, секторность), в основе которого лежат указанные типы климатической упорядоченности, сформулировал основатель экологии ландшафта Карл Тролль [2].

Широкая реализация данного принципа стала возможной лишь с развитием ГИС-технологий и связана с привлечением географических координат к анализу климатических показателей на региональном уровне. В частности, такой подход нашел применение в интегрированной пространственной информационной системе сельскохозяйственного производства, созданной в 1998–2000 гг. для территории Польши, где модели агроклиматического блока дают статистическое распределение основных климатических особенностей в некотором пункте за произвольный период, связывая годовой цикл метеоэлементов, полученный при помощи гармонического анализа, с их пространственным изображением – функцией географических координат [21]. Аналогичные полуэмпирические модели сезонно-географического распределения приземной температуры и месячных сумм атмосферных осадков с целью исследования трансформации гидротермического режима в условиях современных изменений климата построены для равнинной территории Украины [1]. Эмпирические регрессионные зависимости от широты, долготы и абсолютной высоты местности использовались в России при картографировании климатических ресурсов Алтайского края [12].

Нами для территории Беларуси установлена тесная корреляционная связь показателей температуры с географическими координатами при климатических масштабах осреднения данных, построены регрессионные уравнения и показаны их возможности для анализа и картографирования термических ресурсов [8, 9, 22]. В данной статье сделана попытка развернутого обоснования данной зависимости и демонстрации ее новых возможностей для решения различных задач с использованием данных и материалов Республиканского гидрометцентра, прежде всего справочника «Агроклиматические ресурсы республики Беларусь в условиях изменяющегося климата», в котором по метеостанци-

ям Беларуси обобщены данные наблюдений за 1986–2005 гг. [15].

Географические координаты метеорологических станций (широта, долгота и абсолютная высота) по отношению к результатам наблюдений представляют собой метаданные (данные о данных) и обычно приводятся наряду с климатической информацией [20]. Тесная связь с температурными показателями позволяет рассматривать их в качестве объясняющих переменных регрессионных уравнений. При этом для описания зависимости температурных показателей от географических координат может быть использована модель множественной линейной регрессии.

Сеть метеостанций для всей совокупности возможных значений климатического показателя на исследуемой территории может рассматриваться в качестве пространственной выборки. Ее репрезентативность, определяющая качество будущих моделей, зависит от параметров сети метеостанций, а также особенностей исследуе-

мой территории. Репрезентативность выборки является неформализуемой величиной, однако о том, насколько результаты выборочного исследования отражают генеральную совокупность, обычно судят по способу формирования выборки, ее объему и вариативности данных [4].

Использование в качестве точек наблюдения сети метеостанций исключает возможность манипулирования способами формирования выборки, а что касается его объема, то он даже превышает существующие рекомендации для построения регрессионных моделей: не менее 10 наблюдений на каждую независимую переменную [14]. На три независимых переменных (широта, долгота и высота) для территории Беларуси приходится около 50 метеостанций, осуществляющих наблюдения за температурой воздуха и атмосферными осадками.

Репрезентативность сети метеостанций по охвату вариации параметров географических координат для территории Беларуси (100 %) характеризуется в табл. 1.

Таблица 1. Репрезентативность различных пространственных выборок по отношению к географическим координатам территории Беларуси

Выборка	Показатель	Параметр		
		минимум	максимум	% охвата
47 метеостанций	Северная широта, угловые градусы	55,83	51,78	82,7
	Восточная долгота, угловые градусы	32,78	23,38	90,5
	Абсолютная высота рельефа, м	278	115	61,5
25330 точек ЦМР (2×2')	Северная широта, угловые градусы	56,17	51,27	100,0
	Восточная долгота, угловые градусы	32,77	23,20	99,7
	Абсолютная высота рельефа, м	345	85	98,1

Высокая репрезентативность сети метеостанций по показателям географической широты и долготы определяется ее густотой и равномерным распределением по территории Беларуси. В меньшей мере этот вывод относится к абсолютной высоте местности, которая при размещении метеостанций в равнинных условиях учитывается в последнюю очередь.

Предпосылками к применению регрессионного анализа, помимо количественной формы переменных, является их близкие к нормальным статистические распределения, а также отсутствие мультиколлинеарности (сильных линейных связей) между независимыми переменными. Выполнение последнего требования является особенно критичным, поскольку высокие коэффициенты корреляции ($R > 0,7$) между независимыми переменными приводят к неустойчивости оценок параметров регрессионных моделей [4, 14].

Для территории Беларуси все указанные предпосылки полностью выполняются. По результатам расчетов, для 47 метеостанций, осуществляющих наблюдения за температурой воздуха, коэффициенты корреляции составили: 0,17 – для широты и долготы; 0,32 – для широты

и высоты; -0,10 – для долготы и высоты. Практически те же величины коэффициентов корреляции (соответственно 0,16, 0,35 и 0,00) были получены для регулярной пространственной выборки, лежащей в основе цифровой модели рельефа (ЦМР) Беларуси с разрешением 2×2 угловые минуты [6]. В обоих случаях слабая положительная корреляция, статистически значимая при 5 %-ном уровне вероятности ошибки, имеет место лишь между широтой и высотой.

Полученные по ЦМР значения коэффициенты корреляции с учетом внушительного объема выборки (25 330 точек) позволяет рассматривать их в качестве оценок генеральных параметров территории Беларуси, а близость их значениям коэффициентов сети из 47 метеостанций – в качестве еще одного свидетельства репрезентативности данной пространственной выборки.

Качество регрессионных моделей определяется по следующим критериям: 1) качество уравнения регрессии в целом (по величинам коэффициентов множественной корреляции R и детерминации R^2); 2) значимость уравнения регрессии (по F -критерию Фишера при заданном

уровне вероятности ошибки $p = 0,05$); 3) значимость коэффициентов регрессии (по t -критерию Стьюдента при заданном уровне вероятности ошибки $p = 0,05$); 4) выполнение предпосылок метода наименьших квадратов (по анализу регрессионных остатков на выполнение ряда условий: равенство математического ожидания нулю,

нормальное распределение, отсутствие автокорреляции и гетероскедастичности [4, 14].

О высоком качестве полученных уравнений свидетельствуют результаты множественной регрессии среднегодовой температуры воздуха, холодного и теплого периодов, а также температуры сезонов года, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Результаты множественной регрессии для температуры воздуха в различные интервалы года по 47 метеостанциям Беларуси за 1986–2005 гг.

Фактор	Коэффициент регрессии	Ошибка коэффициента регрессии	t -критерий	Уровень значимости (p)
<i>Год</i> $R = 0,946; R^2_{\text{прив}} = 0,888; F = 122; p < 0,000; Sy: 0,21$				
Свободный член	31,4	1,48	21,1	0,000
Широта	-0,39	0,03	-13,3	0,000
Долгота	-0,11	0,02	-7,6	0,000
Абсолютная высота	-0,01	0,001	-4,6	0,000
<i>Холодный период (ноябрь – март)</i> $R = 0,977; R^2_{\text{прив}} = 0,952; p < 0,000; Sy: 0,17$				
Свободный член	23,8	1,20	19,9	0,000
Широта	-0,33	0,02	-14,3	0,000
Долгота	-0,25	0,01	-21,0	0,000
Абсолютная высота	-0,01	0,001	-7,0	0,000
<i>Теплый период (апрель – октябрь)</i> $R = 0,91; R^2_{\text{прив}} = 0,817; p < 0,000; Sy: 0,25$				
Свободный член	36,8	1,81	20,3	0,000
Широта	-0,42	0,04	-11,9	0,000
Долгота	-0,02	0,02	-0,91	0,370
Абсолютная высота	-0,004	0,001	-3,17	0,003
<i>Зима</i> $R = 0,978; R^2_{\text{прив}} = 0,953; F = 312; p < 0,000; Sy: 0,17$				
Свободный член	20,8	1,20	17,4	0,000
Широта	-0,30	0,02	-12,7	0,000
Долгота	-0,28	0,01	-23,1	0,000
Абсолютная высота	-0,01	0,001	-6,8	0,000
<i>Весна</i> $R = 0,931; R^2_{\text{прив}} = 0,858; F = 93; p < 0,000; Sy: 0,27$				
Свободный член	36,0	1,91	18,9	0,000
Широта	-0,50	0,04	-13,4	0,000
Долгота	-0,05	0,02	-2,8	0,008
Абсолютная высота	-0,01	0,001	-3,8	0,000
<i>Лето</i> $R = 0,876; R^2_{\text{прив}} = 0,751; F = 47; p < 0,000; Sy: 0,28$				
Свободный член	37,8	2,02	18,7	0,000
Широта	-0,39	0,04	-9,9	0,000
Долгота	0,05	0,02	2,3	0,027
Абсолютная высота	-0,00	0,001	-2,7	0,010
<i>Осень</i> $R = 0,964; R^2_{\text{прив}} = 0,925; F = 189; p < 0,000; Sy: 0,18$				
Свободный член	30,7	1,27	24,1	0,000
Широта	-0,35	0,03	-14,1	0,000
Долгота	-0,17	0,01	-13,7	0,000
Абсолютная высота	-0,01	0,001	-5,1	0,000

Как следует из табл. 2, значения коэффициентов множественной корреляции (R) и множественной детерминации (R^2) во все рассмотренные интервалы года близки к единице. На значимость уравнений регрессии указывают оценки F -критерия, значительно превышающие критическое табличное значение (3,45) при заданном 5 %-ном уровне ошибки, низкие значения стандартной ошибки регрессии (S_y). Все параметры уравнений являются статистически зна-

чимыми за исключением коэффициента регрессии для долготы в теплый период года. Статистическая незначимость на заданном уровне вероятности ошибки ($p = 0,05$) обнаруживается здесь в апреле и мае (долгота), а также в августе (долгота и высота).

Анализ регрессионных остатков для температурных характеристик показал выполнение всех предпосылок метода наименьших квадратов: их математические ожидания равны нулю, а

распределение, согласно критерию Пирсона, подчиняется нормальному закону. С учетом пространственного характера данных проверка регрессионных остатков на отсутствие автокорреляции и гетероскедастичности (неравенства дисперсий) не проводилась.

Наша попытка построить аналогичные регрессионные модели для количества атмосферных осадков не дала положительного результата. Уравнения множественной линейной регрессии для среднегодовых сумм осадков, а также их значений за холодный и теплый периоды и все сезоны в зависимости от географических координат по 51 метеостанции Беларусь за 1986–2006 гг. согласно оценкам коэффициентов де-

терминации объясняют менее 50 % их дисперсии. Уже одно это обстоятельство не позволяет говорить об их пригодности для интерполяции и экстраполяции сумм атмосферных осадков по территории Беларусь (табл. 3).

Результаты множественной регрессии по всем месяцам года лишь подтвердили этот вывод: построенные уравнения отличаются низким качеством и (или) статистически незначимыми параметрами. При этом значения бета-коэффициентов сумм атмосферных осадков с широтой, долготой и высотой не обнаруживают подобно температуре воздуха какой-либо регулярности в годовом ходе как по величине, так и по знаку, и не поддаются содержательной интерпретации.

Таблица 3. Результаты множественной регрессии для количества атмосферных осадков в различные интервалы года по 51 метеостанции Беларусь за 1986–2005 гг.

Фактор	Коэффициент регрессии	Ошибки коэффициента регрессии	t-критерий	Уровень значимости (<i>p</i>)
<i>Год</i>	$R = 0,646; R^2_{\text{прив}} = 0,380; F = 11,2; p < 0,000; Sy: 39,2$			
Свободный член	-601,5	273,4	-2,2	0,033
Широта	20,5	5,4	3,8	0,000
Долгота	2,3	2,6	0,9	0,385
Абсолютная высота	0,5	0,2	2,5	0,016
<i>Холодный период (ноябрь – март)</i> $R = 0,657; R^2_{\text{прив}} = 0,395; F = 11,8; p < 0,000; Sy: 19,0$				
Свободный член	-402,6	132,4	-3,0	0,004
Широта	11,5	2,6	4,4	0,000
Долгота	-1,6	1,3	-1,3	0,213
Абсолютная высота	0,2	0,1	2,1	0,040
<i>Теплый период (апрель – октябрь)</i> $R = 0,622; R^2_{\text{прив}} = 0,348; F = 9,9; p < 0,000; Sy: 23,6$				
Свободный член	-198,9	164,2	-1,2	0,232
Широта	8,9	3,2	2,8	0,008
Долгота	3,9	1,6	2,5	0,017
Абсолютная высота	0,3	0,1	2,5	0,018
<i>Зима</i> $R = 0,726; R^2_{\text{прив}} = 0,497; F = 17,5; p < 0,000; Sy: 12,1$				
Свободный член	-352,1	84,3	-4,2	0,000
Широта	9,3	1,67	5,6	0,000
Долгота	-1,7	0,80	-2,1	0,040
Абсолютная высота	0,1	0,06	2,1	0,038
<i>Весна</i> $R = 0,488; R^2_{\text{прив}} = 0,189; F = 4,9; p < 0,005; Sy: 8,6$				
Свободный член	102,5	60,2	1,7	0,095
Широта	0,51	1,19	0,4	0,670
Долгота	-0,69	0,57	-1,2	0,228
Абсолютная высота	0,14	0,04	3,1	0,003
<i>Лето</i> $R = 0,558; R^2_{\text{прив}} = 0,267; F = 7,1; p < 0,000; Sy: 15,0$				
Свободный член	-134,1	104,5	-1,3	0,205
Широта	5,29	2,07	2,6	0,014
Долгота	2,22	0,99	2,2	0,030
Абсолютная высота	0,12	0,07	1,6	0,109
<i>Осень</i> $R = 0,699; R^2_{\text{прив}} = 0,457; F = 15,0; p < 0,000; Sy: 10,4$				
Свободный член	-217,8	72,4	-3,0	0,004
Широта	5,4	1,43	3,8	0,000
Долгота	2,5	0,69	3,6	0,001
Абсолютная высота	0,1	0,05	2,0	0,052

Между тем, регрессионные уравнения для сумм атмосферных осадков за год и теплый период в зависимости от географических координат

по 50 метеостанциям Беларусь (за неуказанный авторами, но как можно понять из контекста, современный период) были построены и использо-

ваны для их картографирования [7]. Отметив, что регрессионные уравнения описывают лишь около половины дисперсии зависимых переменных, а вторая ее половина объясняется не учтенными в этих уравнениях показателями и заключив, что их использование требуют особой осторожности, авторы при помощи ArcG/S построили «изолинии теоретического распределения осадков» на территории Беларуси и затем сделали по ним вполне практические выводы: количество осадков на территории Беларуси изменяется в более широких пределах, чем было принято считать ранее; наибольшее количество осадков выпадает в районе максимальных гипсометрических отметок вблизи Минска (в среднем 783 мм осадков в год), а минимальное – на крайнем юго-востоке в районе Брагина (585 мм в год) [7].

Неадекватность моделей с позиций формальных статистических критериев определяет, на наш взгляд, необоснованность полученных с их помощью оценок и сделанных выводов.

В то же время регрессионные уравнения для температурных показателей соответствуют всем предъявляемым к ним статистическим критериям и могут служить инструментом для решения самых различных теоретических и практических задач. Так, результаты множественной регрессии географических координат со среднемесячными температурами воздуха позволяют дать количественную оценку роли различных климатообразующих факторов в формировании температурного режима территории Беларуси в течение года. Для этих целей использованы значения стандартизованных бета-коэффициентов регрессии, динамика которых представлена на рис. 1.

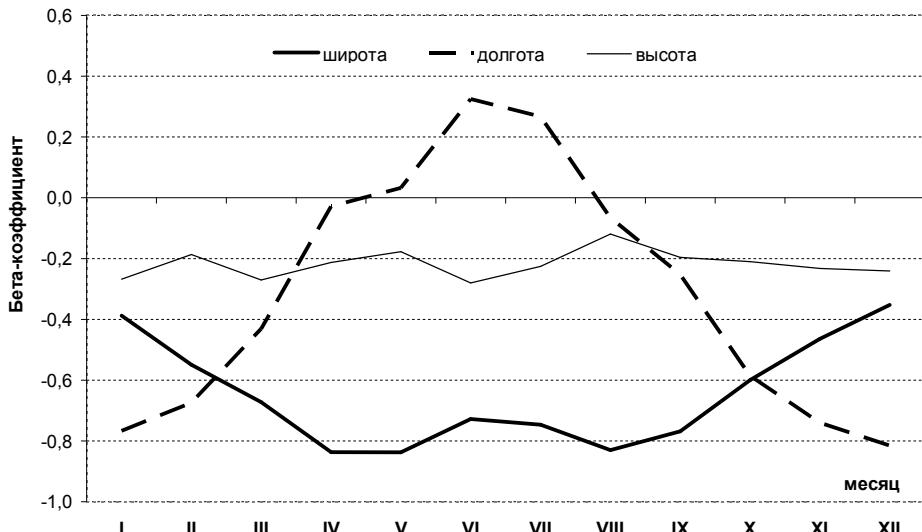


Рис. 1. Роль климатообразующих факторов в годовом ходе температуры воздуха на территории Беларуси по данным за 1986–2005 гг.

Из графика видно, что главным фактором, определяющим температурный режим на территории Беларуси, является географическая широта, с которой связан уровень приходящей солнечной радиации. Статистически значимая отрицательная связь данного фактора с температурой воздуха отмечается на протяжении всех месяцев года, иллюстрируя, тем самым, известный факт, что с уменьшением широты, т. е. движением к югу при прочих равных условиях радиационный баланс и температурный фон местности увеличивается. Роль этого фактора является ведущей в теплый период года, однако в середине лета (июнь и июль) отмечается некоторое ослабление его влияния.

Изменение долготы и связанное с ней изменение адвекции тепла под влиянием господ-

ствующего в умеренных широтах Северного полушария западного переноса воздушных масс формируют высокие отрицательные значения бета-коэффициентов долготы с температурой воздуха в холодный период года. В переходные сезоны года их величины резко снижаются вплоть до нуля и в апреле и мае, а также в августе становятся статистически незначимыми. В июне и июле они вновь становятся отличными от нуля и статистически значимыми, но меняют свой знак. Изменение знака регрессии температуры с долготой на положительную, как и одновременное ее снижение с широтой, показывает, что на смену адвекции тепла из Северной Атлантики, формирующий температурный фон на территории Беларуси в эти месяцы, приходят другие

процессы, обусловленные континентальностью климата.

Третий фактор – абсолютная высота местности – в формировании температурного режима Беларуси в течение всех месяцев года остается стабильным по величине и отрицательным по знаку и в основном (за исключением августа) статистически значимым, хотя и не столь существенным в сравнении с первыми двумя факторами.

Результаты множественной корреляции фактически позволяют судить и о роли четвертого, не включенного в анализ фактора, определяющего годовой ход температуры воздуха в условиях Беларуси, – подстилающей поверхности. Ее влияние обнаруживается в уменьшении коэффициентов множественной детерминации и, соответственно, в увеличении остаточной регрессии температуры от зимних месяцев к летним и обратно. Это обстоятельство может быть объяснено нарастанием температурных контрастов по мере перехода от относительно однородной, в основном покрытой снегом подстилающей поверхности зимой к значительно более разнообразному ее состоянию в летний сезон. Специфи-

ка термических режимов образующих ее лесных и болотных массивов, пахотных и лугопастбищных угодий, водных объектов и урбанизированных территорий обеспечивает разнонаправленные отклонения от рассчитываемых по уравнениям средних значений температурных показателей.

Следствием качества регрессионных уравнений является высокая информативность регрессионных остатков температурных показателей, величины которых могут служить оценками аномалий, возникающих под влиянием фактора подстилающей поверхности. Нами показано, что положительные регрессионные остатки сумм активных температур приурочены к метеостанциям, расположенным в пределах урбанизированных территорий, а отрицательные – к метеостанциям вблизи водных объектов, лесных и болотных массивов [8, 9].

Ниже представлена динамика регрессионных остатков среднемесячных температур воздуха по данным за 1986–2005 гг. для метеостанций Беларуси, отличающихся по их экстремальным значениям (рис. 2).

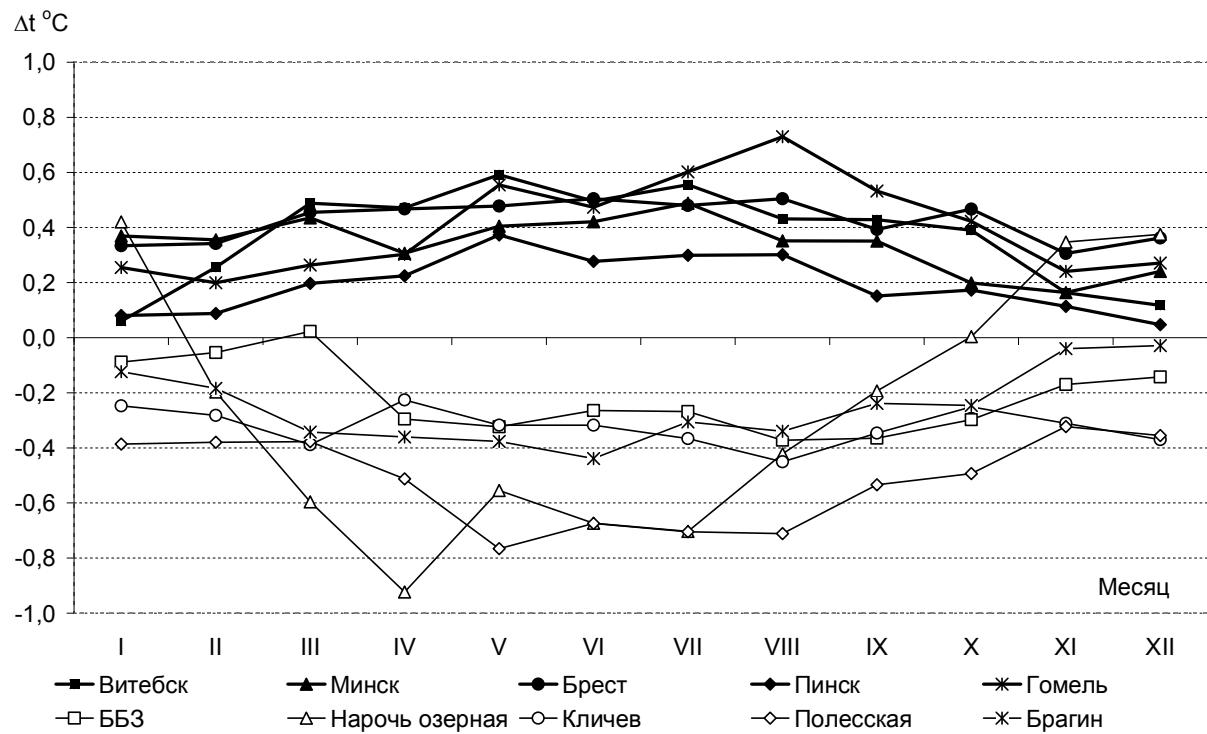


Рис. 2. Регрессионные остатки среднемесячных температур воздуха за 1986–2005 гг. по метеостанциям Беларуси

Как следует из графика, положительными температурными аномалиями характеризуются метеостанции крупных и крупнейших городов

Беларуси. Очевидно, эти аномалии отражают формирующиеся в условиях урбанизированных территорий «острова» тепла, которые обнаружи-

ваются по результатам наблюдений лишь при размещении метеостанций в их пределах. Положительные аномалии для всех метеостанций наиболее выражены в теплый период года, а их максимальное значение ($0,7^{\circ}\text{C}$) имеет место в августе для метеостанции Гомель (рис. 2).

Максимальные отрицательные аномалии приурочены к метеостанциям, расположенным вблизи обширных лесных массивов (Березинский биосферный заповедник (ББЗ), Брагин, Кличев), крупного водоема (Нарочь озерная) и на осушенному торфянике (Полесская). Они также наиболее интенсивно проявляются в теплый период. Среди перечисленных метеостанций особняком стоит метеостанция Нарочь озерная с температурными аномалиями, различающимися по знаку в течение года. Положительный характер аномалий в ноябре – январе и отрицательном их характере в остальные месяцы года находит естественное объяснение в отличных в сравнении с сущей теплофизических свойствах воды как подстилающей поверхности.

Тесная связь с географическими координатами ранее позволила нам построить регрессионные уравнения для сумм активных температур и с использованием цифровой модели рельефа дать картографическую оценку современного состояния термических ресурсов Беларуси [8]. Высокую репрезентативность ЦМР помимо данных табл. 1 подтверждает созданная на ее основе картограмма абсолютных высот, достаточно детально отражающая не только основные, но и второстепенные черты рельефа Беларуси вплоть до долин отдельных крупных рек (рис. 4).

На размещенных на картограммах сумм активных температур выше $0, 5, 10$ и 15°C четко просматривается определяющая роль солнечной радиации в формировании термических ресурсов Беларуси, которая обуславливает субширотный характер их распределения по территории. Другим значимым фактором является абсолютная высота местности. Она нарушает зональный характер распределения термических ресурсов за счет глубокого взаимопроникновения различных градаций, обеспечивая тем самым более сложный характер распределения сумм температур по территории страны. Вклад адвекции тепла в формирование термических ресурсов Беларуси, связанный с фактором долготы, на картограммах этих традиционных показателей, напротив, не очевиден. Их роль становится явной на картограммах сумм температур, построенных для различных интервалов значений температуры воздуха по методу «алгебры карт», т. е. в результате вычитания значений одних модельных оценок из других [17] (рис. 3).

Особого комментария заслуживают картограммы сумм активных температур выше 10°C ,

который занимает привилегированное место среди других показателей теплообеспеченности теплого периода. Их значения, уменьшенные в 100 раз, в среднем соответствуют величине радиационного баланса, выраженного в $\text{kкал}/\text{см}^2$ [19]. Данный показатель играет ключевую роль в агроклиматическом районировании, входит в формулу основного показателя благообеспеченности сельскохозяйственных культур – гидротермического коэффициента и наряду с ним используется в оценочных шкалах биоклиматического потенциала земель Беларуси [6].

Для удобства анализа картограммы сумм температур выше 10°C и абсолютных высот на территории Беларуси приведены рядом (рис. 4 и 5).

Как известно, согласно схеме районирования А. Х. Шкляра [18] в период, предшествующий потеплению, на территории Беларуси выделялось три агроклиматические области: Северная, Центральная и Южная, которые были установлены с учетом сумм температур выше 10°C и показателей увлажнения территории, имели субширотное простижение и характеризовалась средними значениями сумм температур в пределах от 2000 до 2600°C . При этом основополагающим принципом районирования являлась увязка агроклиматических рубежей с физико-географическими границами.

Сопоставление данной схемы с результатами картографирования сумм активных температур выше 10°C за период 1989–1999 гг., которое проводилось вручную, позволило В. И. Мельнику сделать вывод, что потепление привело к сдвигу границ областей, вызвав распад Северной области и появление на юго-западе и юго-востоке Белорусского Полесья новой, четвертой области с суммами температур более 2600°C [10]. Предложенная схема в дальнейшем была основана на данных за более продолжительный период (1989–2008 гг.), но в основных своих чертах не изменилась [11].

О. В. Давыденко свое картографирование выполняла в автоматическом режиме, используя собственную методику расчета показателей термических ресурсов и опираясь на данные по 25 метеостанциям Беларуси за 1989–2006 гг. Результаты ее картографирования демонстрируют еще больший в сравнении с оценками В. И. Мельника рост термических ресурсов Беларуси. Фактически они означают, что Северная область в современный период исчезла, а новая область с суммами температур выше 2600°C на юго-западе и юго-востоке Белорусского Полесья оказалась еще более выраженной. Впрочем, автор ограничивается корректировкой характеристик агроклиматических областей, отрицая необходимость изменения границ, считая, что это станет актуальным, когда изменится не только климат, но и другие физико-географические условия [3].

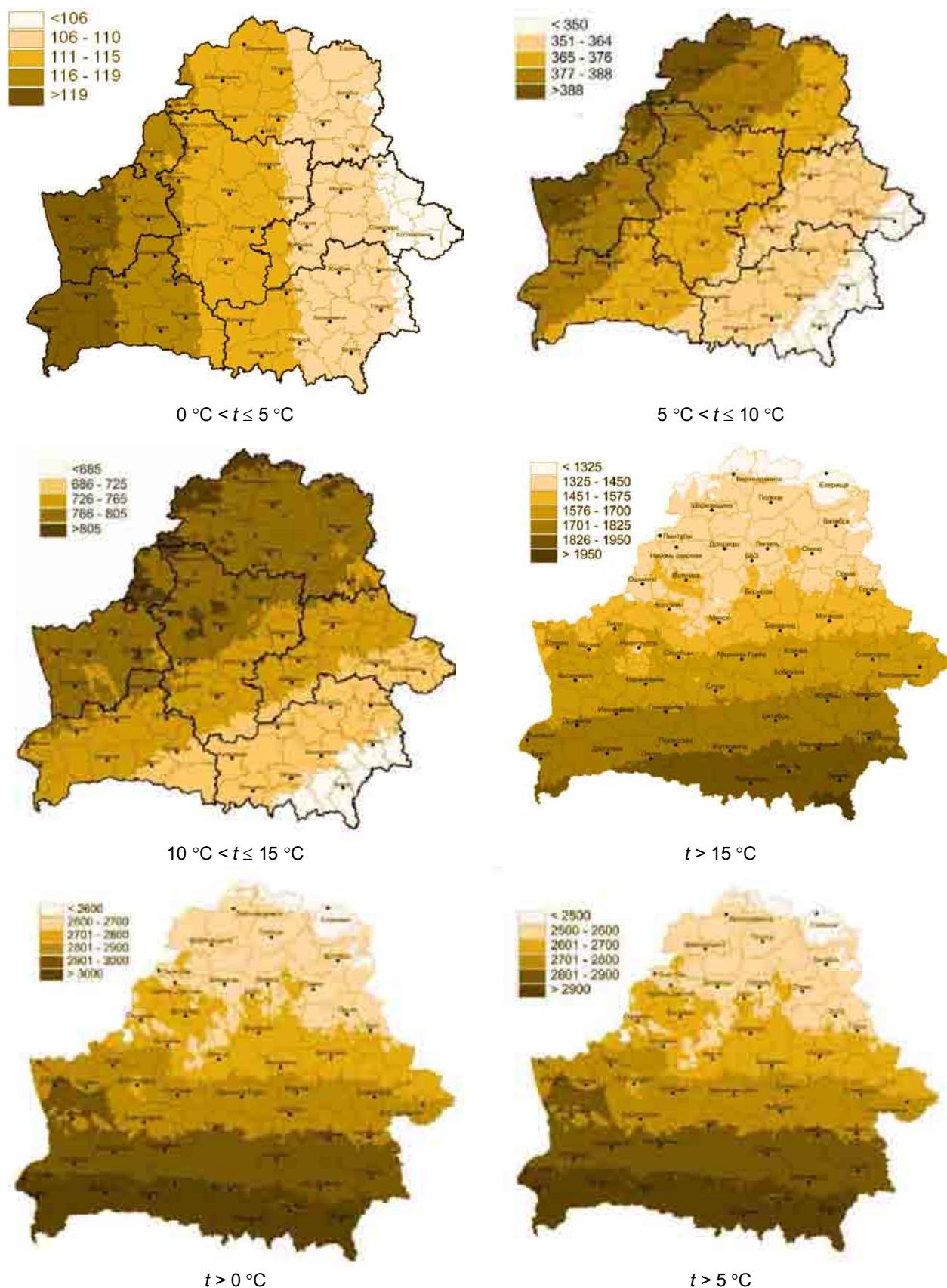


Рис. 3. Модельные оценки сумм температур для указанных интервалов и пороговых значений температуры воздуха за 1986–2005 гг., $t^{\circ}\text{C}$

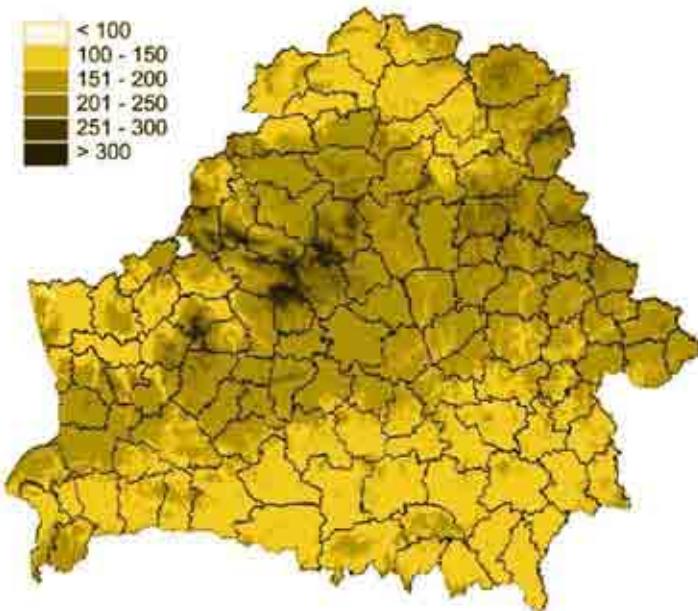


Рис. 4. Распределение абсолютных высот на цифровой модели рельефа Беларуси, м

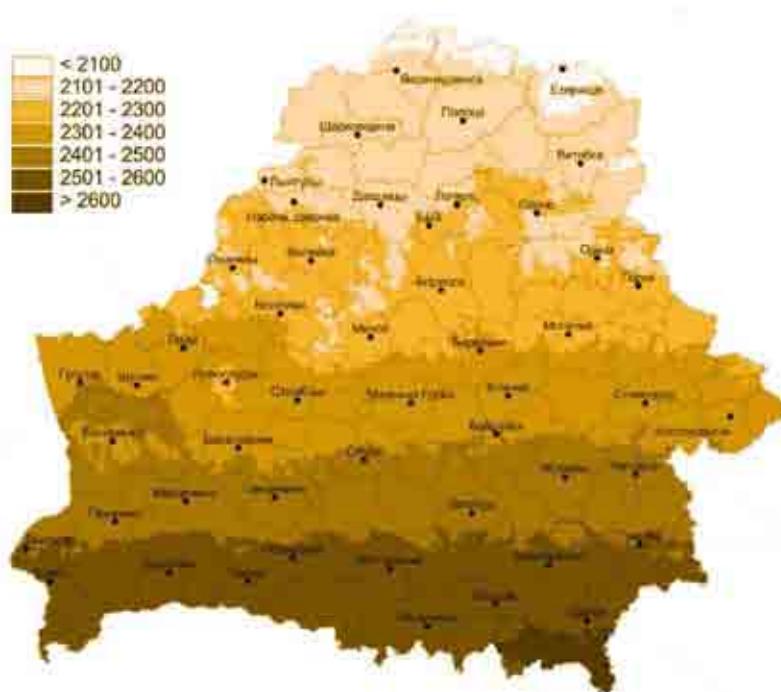


Рис. 5. Модельные оценки сумм активных температур выше 10 °C для территории Беларуси за 1986–2005 гг.

Рассмотренные выше оценки, на наш взгляд, являются завышенными вследствие локального эффекта урбанизации, искажающего региональные величины сумм температур при непосредственной интерполяции данных наблю-

дений на городских метеостанциях. Другой общей причиной является отсутствие наблюдений для приграничных районов Беларуси [3, 10]. На результатах интерполяции О. В. Давыденко не могло не сказаться также применение собствен-

ной методики расчета сумм температур, а также использование данных лишь по 25 метеостанциям Беларуси [3].

Выполненные нами оценки показывают, что за рассматриваемый период (1986–2005 гг.) теплообеспеченность вегетационного периода в условиях Беларуси хотя и выросла, но не столь существенно. Значения сумм активных температур менее 2200 °С практически сохранились на всей территории Витебской области, а значения более 2600 °С оказались локализованными лишь на крайнем юго-востоке страны (рис. 5).

Представленные оценки распределения сумм активных температур выше 10 °С на территории Беларуси принципиально отличаются от результатов картографирования, полученных другими авторами [3, 10, 11]. На наш взгляд, в современных условиях адекватная оценка термических ресурсов невозможна при непосредственной интерполяции данных наблюдений сети

метеостанций, недостатками которых является искажающий эффект подстилающей поверхности и, в частности, урбанизации, неравномерность распределения по территории и отсутствие данных наблюдений для приграничных районов. Преодолеть указанные недостатки позволяет оценка, базирующаяся на математико-картографическом моделировании термических ресурсов Беларуси [8].

Таким образом, установленная нами тесная связь температурных показателей при климатических масштабах осреднения данных метеонаблюдений с географическими координатами (широтой, долготой и абсолютной высотой) может рассматриваться в качестве весьма эффективного инструмента для анализа факторов формирования температурного режима, а также адекватной территориальной оценки термических ресурсов в условиях Беларуси.

Литература

1. **Бойченко, С. Г.** Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату / С. Г. Бойченко. Київ, 2008.
2. **Введение в физическую географию** / К. К. Марков [и др.]. М., 1978.
3. **Давыденко, О. В.** Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата / О. В. Давыденко // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2009. № 1. С.106–109.
4. **Дубина, И. Н.** Математико-статистические методы в эмпирических социально-экономических исследованиях / И. Н. Дубина. М., 2010.
5. **Иванов, Н. Н.** Пояса континентальности земного шара / Н. Н. Иванов // Изв. ВГО. 1959. Т. 91. Вып. 5. С. 410–423.
6. **Кадастровая** оценка земель сельскохозяйственных предприятий (метод. указания). Минск, 1997.
7. **Клебанович, Н. В.** Увлажненность территории Беларуси / Н. В. Клебанович, А. А. Сорокин // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. №1. С. 77–81.
8. **Коляда, В. В.** Оценка термических ресурсов Беларуси методом математико-картографического моделирования / В. В. Коляда // Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы : сб. научн. тр. / БелНИЦ «Экология». Минск, 2011. С. 228–237 .
9. **Логинов, В. Ф.** Влияние урбанизации на увеличение термических ресурсов юга Беларуси / В. Ф. Логинов, В. В. Коляда // Природопользование. 2010. Вып.18. Минск, 2010. С. 9–15.
10. **Мельник, В. И.** Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / В. И. Мельник. Минск, 2004.
11. **Мельник, В. И.** Изменение климата на территории Беларуси: возможные меры адаптации / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Экология. 2010. № 3. С. 7–11.
12. **Михайлова, Л. А.** Геоинформационные технологии при изучении региональных климатических изменений / Л. А. Михайлова, Н. Ф. Харламова, Н. Н. Михайлов // Изменение состояния окружающей среды в странах содружества в условиях текущего изменения климата. М., 2008. С. 96–101.
13. **Монин, А. С.** История климата / А. С. Монин, Ю. А. Шишков. Л., 1979.
14. **Орлова, И. В.** Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование / И. В. Орлова, В. А. Половников. М., 2010.
15. Справочник «Агроклиматические ресурсы Республики Беларусь в условиях изменения климата» [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://pogoda.by/climat-directory/?page=238>. Дата доступа : 8.04.2011.
16. **Хромов, С. П.** Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. Л., 1974.
17. **Хромых, В. В.** Цифровые модели рельефа / В. В. Хромых, О. В. Хромых. Томск, 2007.
18. **Шкляр, А. Х.** Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. Минск, 1973.
19. **Шульгин, А. М.** Методика сельскохозяйственной оценки климата / А. М. Шульгин. М., 1966.
20. **Encyclopedia of Climatology** / Ed. J. E. Oliver, R. W. Fairbridge. NY : Van Nostrand Reinold, 1987.

21. Integrated Spatial Information System for Agricultural Production (ISISAP) in Poland [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.ipm.iung.pulawy.pl/PBZ1708/pbz1708en.htm>.

22. Loginov, V. F. Modeling estimation of thermal resources on territory of Belarus / V. F. Loginov, V. S. Mikutsky, V. V. Kalyada // International conference «Global and regional climate changes» : Conference abstracts, 16–19 November 2010. Kyiv, Ukraine. Kyiv, 2010. Pp. 76–77.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 20.03.2012

B. B. Коляда

СВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ КООРДИНАТАМИ МЕТЕОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Для территории Беларуси установлена тесная корреляционная связь температурных показателей с географическими координатами метеостанций, проявляющаяся при климатических масштабах осреднения результатов их наблюдений. Этому благоприятствует, с одной стороны, довольно густая и равномерная сеть метеорологических станций, с другой – равнинный характер рельефа и, как следствие, отсутствие барьерных климатических эффектов. Показано, что для сумм атмосферных осадков подобная связь отсутствует. С использованием данных за 1986–2005 гг. построены уравнения множественной линейной регрессии, описывающие зависимость температурных показателей от широты, долготы и абсолютной высоты местности и продемонстрированы их возможности для решения различных теоретических и практических задач.

С использованием результатов корреляционно-регрессионного анализа оценен вклад различных факторов в формирование температурного режима на территории Беларуси. Показано, что в теплый период года основным фактором здесь является приходящая солнечная радиация, в то время как в холодный период ведущим фактором становится адvection тепла из Северной Атлантики. В переходные сезоны перенос тепла под влиянием воздушных масс резко снижается, а в летнее время их место занимают процессы, связанные с континентальностью климата. В течение практически всего года статистически значимое отрицательное по знаку и относительно небольшое по силе влияние на термический режим территории Беларуси оказывает абсолютная высота местности. Роль еще одного фактора – подстилающей поверхности – проявляется в формировании положительных либо отрицательных температурных аномалий и наиболее выражена в теплый период года.

Методом математико-картографического моделирования, базирующимся на установленных регрессионных зависимостях и созданной цифровой модели рельефа, для территории Беларуси построены картограммы сумм активных температур выше 0, 5, 10, 15 °C и производных от них показателей. Математико-картографическое моделирование позволяет устранить искажающие эффекты интерполяции, возникающие, прежде всего, под влиянием урбанизации, неравномерного размещения сети метеостанций, отсутствия информации по приграничным районам и дать адекватную оценку распределения термических ресурсов на территории Беларуси.

V. V. Kalyada

A CONNECTION OF CLIMATIC INDICATORS WITH GEOGRAPHICAL COORDINATES OF METEOROLOGICAL STATIONS IN BELARUS

A close correlation connection of temperature indicators with geographical coordinates of the meteorological stations, revealing at climatic scales of averaging of results of their supervision for the territory of Belarus was found. This is stipulated, first, by dense enough and uniform network of meteorological stations, second, by plain character of a relief and, as a consequence, absence of barrier climatic effects. It is shown, that for the sums of atmospheric precipitation a correlation alike is absent. With the use of data for 1986–2005 the equations of multiple linear regression, describing dependence of temperature indicators from lati-

tude, longitude and altitude of the district are built and their possibilities for the decision of various theoretical and practical problems are shown.

With the use of the results of correlation-regressive analysis the role of various factors in the formation of a temperature mode in territory of Belarus is estimated. It is shown, that during the warm period of a year a major factor here is in-coming solar radiation, while during the cold period advection of heat from Northern Atlantic becomes the leading factor. During transitive seasons the heat transfer under the influence of air mass sharply decreases, and in summertime their place is occupied with the processes related to continentality of a climate. Within practically all year, statistically significant negative by mark and rather small influence regarding power on a thermal mode of territory of Belarus renders the altitude of the district. The role of one more factor – a spreading surface – in the formation of positive or negative temperature anomalies is shown and is most expressed during the warm period of year.

The method of mathematical-cartographical modeling which is based on the established regression dependences and the created digital terrain model, for territory of Belarus constructs cartograms of the sums of active temperatures above 0, 5, 10, 15 °C and derived from them indices. The mathematical-cartographical modeling allows to eliminate the deforming effects of interpolation, arising, first, under the influence of urbanization, non-uniform placing of a network of meteorological stations, absence of the information on borderline areas and to state an adequate estimation of thermal resources distribution on the territory of Belarus.

УДК 504.37+313.13 (476)

Г. А. Камышенко

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ РЯДОВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Представлены результаты пространственно-временного анализа изменения атмосферных осадков Беларуси на областном и региональном уровнях за период 1945–2009 гг. Выявлены территориально-распределенные временные границы однородных интервалов, характеризующих особенности распределения осадков на территории страны, установлена их устойчивость и повторяемость во времени и пространстве.

Атмосферные осадки являются основным источником создания запасов почвенной влаги, оказывающим существенное влияние на уровень продуктивности агросистем. Учет водно-температурного режима территории в значительной степени определяет успешность ведения аграрного производства. Это обстоятельство свидетельствует об актуальности и важности выполненного статистического исследования пространственно-временной однородности / неоднородности атмосферных осадков.

При исследовании временных рядов метеорологических показателей применяется концепция однородного многомерного случайного процесса [5]. Случайный процесс $\xi(t)$ задается функцией распределения:

$$F_n(x_1, \dots, x_n) = P(\xi(t_1) \leq x_1, \dots, \xi(t_n) \leq x_n),$$

где P – вероятность.

Ранее нами был выполнен анализ динамики временных рядов атмосферных осадков Беларуси на интервале 1960–2003 гг. [5, 6], что позволило выявить их сложную пространственно-временную структуру, выделить отрезки исследуемого интервала наблюдений, для которых распределения сумм осадков статистически отличаются между собой. Особенностью рядов месячных сумм атмосферных осадков на уровне административных областей явилась их однородность для марта и октября. Июньские осадки в первые 9 лет (1960–1968 гг.) оказались ниже, чем во второй части исследуемого временного интервала, а для зимних осадков выделены четыре однородных интервала. Это свидетельствует о колебательном характере режима увлажнения территории. Агрегированные для страны в целом ряды имели более четкую структуру. При всей сложности территориально–временной структуры распределения атмосферных осадков на территории Беларуси за период длительностью 44 года обобщенный ряд годовых сумм атмосферных осадков для страны в целом оказался однородным. Это позволило сделать вывод, что обобщенный ряд распределения атмосферных осадков на временном интервале

1960–2003 гг. можно рассматривать как стационарный случайный процесс или, учитывая дискретность формирования и выпадения осадков, как стационарную случайную последовательность (временной ряд).

В данной работе рассматриваются вопросы, касающиеся изменения статистических рядов атмосферных осадков как одной из характеристик климатических ресурсов Беларуси на уровне административных областей страны за период 1945–2009 гг. Посредством разработанного оригинального программного комплекса [5, 6] ряды статистических данных по атмосферным осадкам разделены на однородные отрезки. Осуществлено деление на однородные временные интервалы как одномерных рядов данных, характеризующих осадки на уровне конкретных административных областей, так и многомерного ряда, составляющими которого являются исследуемые одновременно 6 рядов областных данных осадков по Беларуси, т.е. реализованы соответственно однокомпонентный и многокомпонентный анализ.

Климатический ряд считается однородным, если его характеристики изменяются от года к году или от некоторого временного периода к другому периоду в соответствии с естественной изменчивостью геофизических и метеорологических процессов, и, таким образом, его изменчивость отвечает заданному уровню статистической значимости. Для исследования рядов на однородность использовалась концепция многомерного случайного процесса [1].

Выполнено сравнение рассчитанных средних значений сумм атмосферных осадков выделенных однородных временных интервалов со средними значениями за период 1945–2009 гг. В исследовании использованы данные по атмосферным осадкам по метеостанциям страны, предоставленные Республиканским гидрометеорологическим центром.

Однокомпонентный анализ. Результаты проверки гипотезы однородности/неоднородности временных рядов (1945–2009 гг.) среднемесячных сумм атмосферных осадков административных областей страны приведены в табл. 1

Таблица 1. Однородные временные интервалы в рядах атмосферных осадков (мм) Беларуси (1945–2009 гг.) (однокомпонентный анализ)

Область	Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
	Период, годы	Осадки, мм	Период, годы	Осадки, мм	Период, годы	Осадки, мм						
Брестская	1945–2006	34	1945–2009	33	1945–2009	33	1945–2009	39	1945–2004 2005–2009	56 79	1945–2009	74
	2007–2009	58										
	Среднее значение	36	Среднее значение	33	Среднее значение	33	Среднее значение	39	Среднее значение	58	Среднее значение	74
Витебская	1945–1978	33	1945–1981	31	1945–1982	33	1945–2009	41	1945–2004 2005–2009	55 89	1945–1950 1951–1980 1981–1991 1992–2009	94 69 106 78
	1979–2009	47	1982–1986	18	1983–2009	42						
	Среднее значение	39	Среднее значение	34	Среднее значение	37	Среднее значение	41	Среднее значение	57	Среднее значение	80
Гомельская	1945–2006	35	1945–1973	33	1945–1991	31	1945–1966	35	1945–1985	53	1945–2009	75
	2007–2009	54	1974–1976	12	1992–2009	44	1967–1969	62	1986–1990	30		
	Среднее значение	36	1977–1998	29			1970–2009	42	1991–2009	63		
Гродненская	1945–2006	39	1945–1974	36	1945–1978	32	1945–2000	46	1945–2001	60	1945–1952	103
	2007–2009	62	1975–1990	26	1979–2009	41	2001–2009	30	2002–2009	81	1953–2009	76
	Среднее значение	40	1991–2009	43								
Минская	1945–1947	21	1945–1973	35	1945–1957	29	1945–2009	41	1945–1969	64	1945–2009	79
	1948–2009	40	1974–1994	27	1958–2009	39			1970–2004	52		
	Среднее значение	39	1995–2009	43					2005–2009	87		
Могилевская	1945–1947	21	1945–1973	33	1945–2003	33	1945–2009	41	1945–1962	60	1945–2009	76
	1948–2009	37	1974–1994	24	2004–2009	47			1963–2004	47		
	Среднее значение	36	1995–2009	39					2005–2009	80		

Окончание табл. 1

Область	Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
	Период, годы	Осадки, мм										
Брестская	1945–1995	76	1945–1950	95	1945–1989	50	1945–2009	46	1945–1959	44	1945–2009	43
	1996–2009	104	1951–1990	69	1990–2001	74			1960–1973	60		
			1991–2003	45	2002–2009	31			1974–2009	40		
	Среднее значение	82	Среднее значение	69	Среднее значение	52	Среднее значение	46	Среднее значение	45	Среднее значение	43
Витебская	1945–2009	85	1945–1965	86	1945–1998	72	1945–2001	52	1945–2009	49	1945–1963	34
			1966–2002	62	1999–2009	40	2002–2009	81			1964–2000	50
			2003–2009	93							2001–2009	38
	Среднее значение	85	Среднее значение	73	Среднее значение	66	Среднее значение	55	Среднее значение	49	Среднее значение	44
Гомельская	1945–2006	83	1945–1955	74	1945–1983	48	1945–2001	44	1945–2009	47	1945–1953	27
	2007–2009	148	1956–1958	116	1984–2000	73	2002–2009	73			1954–2009	44
			1959–1965	86	2001–2009	42						
	Среднее значение	86	Среднее значение	70	Среднее значение	54	Среднее значение	47	Среднее значение	47	Среднее значение	41
Гроднен- ская	1945–2006	83	1945–1950	104	1945–2009	59	1945–2009	50	1945–1973	56	1945–2009	47
	2007–2009	136	1951–2009	69					1974–2009	44		
	Среднее значение	86	Среднее значение	72	Среднее значение	59	Среднее значение	50	Среднее значение	50	Среднее значение	47
Минская	1945–2009	82	1945–1970	87	1945–1983	55	1945–2001	48	1945–1958	44	1945–1953	29
			1971–2003	59	1984–1998	75	2002–2009	72	1959–1973	64	1954–2009	46
			2004–2009	103	1999–2009	38			1974–2009	42		
	Среднее значение	82	Среднее значение	74	Среднее значение	56	Среднее значение	51	Среднее значение	48	Среднее значение	43
Могилев- ская	1945–1993	83	1945–1970	84	1945–1983	53	1945–2001	48	1945–2009	45	1945–1953	28
	1994–1996	44	1971–1974	25	1984–1998	80	2002–2009	75			1954–1970	49
	1997–2009	101	1975–2009	67	1999–2009	33					1971–2009	40
	Среднее значение	84	Среднее значение	71	Среднее значение	55	Среднее значение	51	Среднее значение	45	Среднее значение	40

В данном случае исследованы одномерные статистические ряды, характеризующие осадки по каждой области в отдельности, т.е. выполнен однокомпонентный анализ.

Установлено, что в январе ряды атмосферных осадков в целом однородны. Выделенные трехлетние периоды в Брестской, Гомельской и Гродненской областях (2007–2009 гг.), отличающиеся резким повышением среднего значения исследуемого показателя, можно трактовать как короткопериодную флюктуацию. Этот вывод подтверждает и тот факт, что уже в январе 2010 г. на территории Беларуси в целом отмечен недобор осадков. В Минской и Могилевской областях в начале исследуемого периода выделены флюктуации осадков со средними значениями, значительно уступающими аналогичному показателю за 1945–2009 гг. В Витебской области зафиксировано устойчивое повышение суммарных осадков в январе, причем в последние 30 лет оно составило 14,0 мм по отношению к среднему значению предыдущего выделенного временного интервала.

В феврале ряды осадков только для Брестской области оказались статистически однородными. На остальной части территории страны ряды осадков имеют сложную структуру, свидетельствующую о колебательном характере атмосферных осадков. Выделенный последний временной интервал повсеместно по республике характеризуется повышенным фоном осадков, превышающим среднее значение за весь исследуемый период на 7,0–12,0 мм.

В марте на всей территории страны, кроме Брестской области, выявлены два однородных временных интервала, причем второй интервал характеризуется более высокими значениями суммарных осадков, превышающими среднестатистическое значение на всем исследуемом периоде. Превышение колеблется от 2,0 мм в Минской области до 13,0 мм в Могилевской области.

Ряды апрельских осадков в основном оказались однородными, только по Гомельской и Гродненской областям исследуемые статистические данные удалось разделить на однородные временные отрезки. В 2001–2009 гг. в Гродненской области отмечается значительное снижение сумм атмосферных осадков – на 30 % от среднего значения за весь исследуемый период; в Гомельской области выделена короткопериодная флюктуация, характеризующаяся повышенным значением осадков, но в целом ситуация соответствует среднестатистической.

На территории четырех административных областей (Брестской, Витебской, Минской и Могилевской) после 2004 г. отмечается существенное увеличение количества выпавших осадков в мае. Для Гродненской области таким пограничным годом явился 2001 г., Гомельской области –

1990 г. Суммарное количество осадков в последнем выделенном временном интервале относительно среднего значения за весь исследуемый период повысились от 16 % в Гомельской области до 56 % – в Витебской области.

В июне в целом выпадение осадков характеризуется как однородный процесс. Только для Витебской области выявлен колебательный характер динамики количества осадков, причем в последние годы, начиная с 1992 г., произошло их значительное снижение относительно предыдущего десятилетия. В первые годы исследуемого временного интервала северо-западная часть страны отличалась повышенным режимом увлажнения территории относительно среднего значения за период 1945–2009 гг.

Динамика июльских осадков на большей части территории страны описывается положительным трендом, при этом для осадков Гомельской и Гродненской областей выявлены трехлетние флюктуации, значительно превышающие их средние значения по данным областям.

Август по количеству осадков, так же как и по температурному режиму территории [1], является одним из самых неоднородных месяцев в году как во временном, так и в пространственном аспекте. В Гомельской, Гродненской и Могилевской областях рост осадков сменился их спадом, по своему значению уступающему среднему значению за весь исследуемый период. На остальной части территории страны динамика изменения атмосферных осадков имеет колебательный характер, завершаясь ростом их количества.

В сентябре при колебательном характере изменения количества осадков в последнее десятилетие отмечается их значительный недобор по отношению к среднему значению исследуемого интервала. Особенно здесь выделяется северо-восточная часть страны: в Витебской области недобор составил 26 мм, в Могилевской области – 22 мм осадков.

Октябрьские осадки делятся на два однородных периода в 2001 г. Это относится к большей части территории Беларуси, исключение составляют осадки Брестской и Гродненской областей. Исходя из полученных результатов, можно констатировать, что за последние 8 лет количество атмосферных осадков в четырех областях увеличилось по отношению к средним значениям за весь период 1945–2009 гг.

В рядах ноябрьских осадков, характеризующих восточную часть территории страны, не удалось выделить однородные временные интервалы. На западе Беларуси после 1973 г. повсеместно произошло уменьшение количества атмосферных осадков.

Декабрьские осадки на западе страны характеризуются как однородные; в осадках центральной и юго-восточной части территории республики выделено два временных интервала с

границей, приходящейся на 1953 г., после чего отмечается увеличение суммарного количества атмосферных осадков. На севере страны после 1963 г. также произошло увеличение количества выпавших осадков, сменившееся в последнее

десятилетие их спадом до уровня ниже среднего значения по области.

Многокомпонентный анализ. Для рядов атмосферных осадков выделены общие для 6 административных областей страны границы однородных временных интервалов (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения атмосферных осадков (мм) для выделенных однородных временных интервалов, общих для административных областей (1945–2009 гг.) (многокомпонентный анализ)

Месяц	Временной интервал	Административная область					
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Январь	1945–1978	33	33	34	35	36	34
	1979–1986	50	54	46	56	52	47
	1987–2006	30	42	32	38	38	33
	2007–2009	58	57	54	62	55	48
	Среднее значение	36	39	36	40	39	36
Февраль	1945–1973	36	32	33	36	35	33
	1974–1994	26	30	26	29	27	24
	1995–2006	37	45	41	44	43	39
	Среднее значение	33	34	32	35	34	32
Март	1945–1986	31	33	31	34	35	32
	1987–2009	38	43	43	42	42	39
	Среднее значение	33	37	35	38	37	34
Апрель*	–	–	–	–	–	–	–
	Среднее значение	39	41	41	43	41	41
Май	1945–1947	42	36	41	32	45	46
	1948–1969	60	64	56	69	66	59
	1970–2004	54	51	51	58	52	46
	2005–2009	79	89	73	84	87	80
	Среднее значение	58	57	54	62	59	53
Июнь*	–	–	–	–	–	–	–
	Среднее значение	74	80	75	79	79	76
Июль	1945–2006	79	84	83	83	81	83
	2007–2009	132	104	148	136	100	119
	Среднее значение	82	85	86	86	82	84
Август	1945–1970	77	83	82	83	87	84
	1971–2002	59	61	60	60	58	58
	2003–2009	83	93	78	92	99	82
	Среднее значение	69	73	70	72	74	71
Сентябрь	1945–1983	49	64	48	56	55	53
	1984–1998	68	91	73	78	75	80
	1999–2009	41	40	47	43	38	33
	Среднее значение	52	66	54	59	56	55
Октябрь	1945–2001	45	52	44	48	48	48
	2002–2009	54	81	73	67	72	75
	Среднее значение	46	55	47	50	51	51
Ноябрь	1945–1959	44	39	45	50	45	40
	1960–1974	59	65	57	63	63	56
	1975–2009	40	46	44	44	42	43
	Среднее значение	45	49	47	50	48	45
Декабрь*	–	–	–	–	–	–	–
	Среднее значение	43	44	41	47	43	40
Год*	–	–	–	–	–	–	–
	Суммарное значение	609	662	619	662	644	619

* Ряды не делятся.

Ряды статистических данных по атмосферным осадкам большинства месяцев удалось программно разделить на однородные временные отрезки, имеющие общие временные границы.

В рядах *январских* осадков выделено четыре единых для административных областей страны однородных периода, изменения осадков носят колебательный характер и характеризуются положительным трендом. Однако последний выделенный 3-летний интервал с повышенными суммарными осадками является флюктуацией, подтверждением чему служит недобор (74 % от нормы) атмосферных осадков в январе 2010 г.

Для осадков *февраля* выделены три однородных временных интервала с границами в 1973 и 1994 гг. В последние годы, начиная с 1995 г., наблюдается устойчивое повышение уровня увлажнения территории.

С 1987 г. в *марте* на территории Беларуси произошло повышение количества атмосферных осадков по сравнению с предыдущим интервалом, особенно это проявилось в Гомельской области (на 12 мм).

Ряды *апрельских* осадков не удалось разделить на статистически различающиеся между собой интервалы.

Майские осадки характеризуются колебательным характером, при этом на начало и конец исследуемого интервала приходятся флюктуации с низкими и эстремально высокими значениями осадков соответственно. При этом следует отметить, что весной 2008 г. отмечено максимальное количество атмосферных осадков для Беларуси в целом и ряда отдельных областей (Витебской, Минской и Могилевской) как за рассматриваемый временной интервал, так и за весь период метеонаблюдений [7].

Июньские осадки оказались в целом однородными, что отчасти согласуется с результатами однокомпонентного анализа.

Для осадков *июля* выделены два временных интервала, причем второй включает только три года с максимальными значениями выпавших осадков, значительно превосходящими средние значения предыдущего отрезка.

В многолетней динамике осадков *августа* выделяются три отрезка. Для средней части ряда характерны минимальные осадки. Атмосферные осадки в период с 2003 по 2009 г. заметно превышают среднее значение на всем исследуемом временном интервале.

Динамика изменения многомерного ряда *сентябрьских* осадков характеризуется колебательным характером: максимум осадков приходится на средний временной интервал, а с 1999 г. повсеместно отмечается существенное снижение увлажнения территории – по отдельным областям (Витебской, Минской и Могилевской) установлено двухкратное и более умень-

шение осадков по сравнению с предыдущим периодом (1984–1998 гг.). Полученные результаты полностью согласуются с результатами однокомпонентного анализа, выполненного на уровне отдельных административных областей.

В *октябрьских* осадках выделено два временных интервала продолжительностью 57 и 8 лет, причем в последние годы отмечается значительное повышение количества выпавших осадков, что также согласуется с результатами однокомпонентного анализа.

В изменении *ноябрьских* осадков выделяются три фазы. Самыми обильными были осадки в интервале с 1960 по 1974 г., затем последовал их спад до значения ниже среднего за весь исследуемый временной интервал.

Многомерный ряд *декабрьских* сумм осадков не удалось разделить на однородные интервалы, что расходится с результатами однокомпонентного анализа. Это свидетельствует о разнонаправленности трендов и отсутствии синхронности в динамике осадков отдельных административных областей: в последние годы на северо-востоке страны произошел спад уровня осадков в декабре, а в центральной и юго-восточной части отмечен их рост.

Ряды годовых сумм осадков не смогли разделить на статистически различающиеся между собой временные отрезки при заданном уровне статистической значимости. В последние годы годовое количество атмосферных осадков за период 2005–2008 гг. оказалось близким к климатической норме, в 2009 г. их норма была превышена на 24 % [7]. Несмотря на сложность территориальной и временной структуры распределения атмосферных осадков на территории Беларуси за период длительностью 65 лет, обобщенный ряд годовых сумм атмосферных осадков для страны в целом оказался однородным. Аналогичный результат был получен при анализе однородности рядов суммарных осадков за период с 1960 по 2003 г. Этот факт подтверждает ранее сделанный вывод: для территории страны в целом стохастический процесс распределения атмосферных осадков на исследуемом временном интервале можно рассматривать как стационарный случайный процесс [5].

Учитывая, что около 70 % годовой суммы осадков приходится на апрель–октябрь, представляет интерес генерализация полученных результатов посредством выделения в годовом ходе двух периодов – теплого (апрель–октябрь) и холодного (ноябрь–март). В табл. 3 представлены расчетные результаты проверки гипотезы однородности временных рядов осадков теплого и холодного периодов года на интервале с 1945 по 2009 г. Несмотря на то, что при проверке гипотезы однородности рядов нами просчитывались варианты с уменьшением/увеличением критического уровня достоверности (0,05), отдельные временные ряды атмо-

сферных осадков, сформированные по периодам года, не удалось программно разделить на однородные интервалы, что свидетельствует об их однородности в целом. Это касается осадков теплого и холодного периодов Минской области, теплого

периода Могилевской области, холодного периода Брестской и Гродненской областей, что осложняет выполнение территориально-временного анализа динамики выпадения осадков в выделенные периоды.

Таблица 3. Среднегодовые значения сумм атмосферных осадков выделенных однородных временных интервалов теплого и холодного периодов года (1945–2009 гг.)

Период года	Административная область					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
	Временной интервал (годы), осадки (мм)					
Теплый период (апрель – октябрь)	1945–2005 415	1945–1957 502	1945–1989 415	1945–1950 530	*	*
	2006–2009 479	1958–1976 418	1990–2009 456	1951–2009 444		
		1977–2009 465				
Среднее значение за 1945–2009 гг.	419	457	427	451	442	431
Холодный период (ноябрь – март)	*	1945–1957 165	1945–2003 187	*	*	1945–2003 183
		1958–1986 203	2004–2009 236			2004–2009 225
		1987–2009 225				
Среднее значение за 1945–2009 гг.	190	203	191	210	201	187

* Ряд не делится.

Из табл. 3 следует, что в теплый период года наблюдается неоднозначная ситуация. На юге страны в Брестской области только за последние четыре года исследуемого периода увлажненность территории в теплые месяцы года повысилась, превысив на 14 % среднее значение осадков за весь исследуемый временной интервал, при этом самым влажным оказался теплый период 2009 г., когда суммарно выпало 507 мм осадков. В следующем 2010 г. в теплые месяцы в Брестской области выпало 457 мм осадков, что также превысило среднее значение по области. Однако период после 2006 г. слишком короткий, чтобы делать выводы о наметившемся повышении уровня увлажнения территории. В изменении осадков Витебской области в теплый период выделено три однородных интервала, из которых средний характеризуется пониженным уровнем увлажнения территории, сменившимся после 1976 г. увеличением количества выпавших осадков. В период современного потепления в апреле–октябре в Гомельской области количество осадков увеличилось. В Гродненской области только в первые шесть лет исследуемого временного интервала суммы осадков теплого периода превысили среднее значение за весь исследуемый интервал.

В холодный период только в Витебской области наблюдается устойчивое повышение количества выпавших осадков. Осадки Гомельской и

Могилевской областей повысились только после 2003 г., но по 6-летнему интервалу сложно делать выводы об устойчивости наблюдавших изменений.

Учитывая факт наличия временной границы потепления в Беларуси [1, 3–6], представляет интерес результат расчета отклонений средних значений суммарных месячных осадков за период 1989–2009 гг. от многолетних климатических норм за 100-летний период, предшествующий современному потеплению (1891–1990 гг.). Анализ расчетных данных показал, что распределение осадков на территории страны в отдельные месяцы происходит очень неравномерно и носит зональный характер, что отражено на рис. 1.

Месячные атмосферные осадки. За период потепления климата в январе на северо-западе страны произошло увеличение количества выпавших осадков, на остальной территории выявлено их снижение, на юге оно оказалось незначительным. В феврале в последние годы повсеместно отмечается увеличение осадков относительно климатических норм, наиболее выраженное в Витебской и Гродненской областях, составившее соответственно 34 и 24 %. В октябре на всей территории страны, кроме юго-западной части, также произошло увеличение количества осадков. Менее выраженная аналогичная ситуация характерна и для мая.

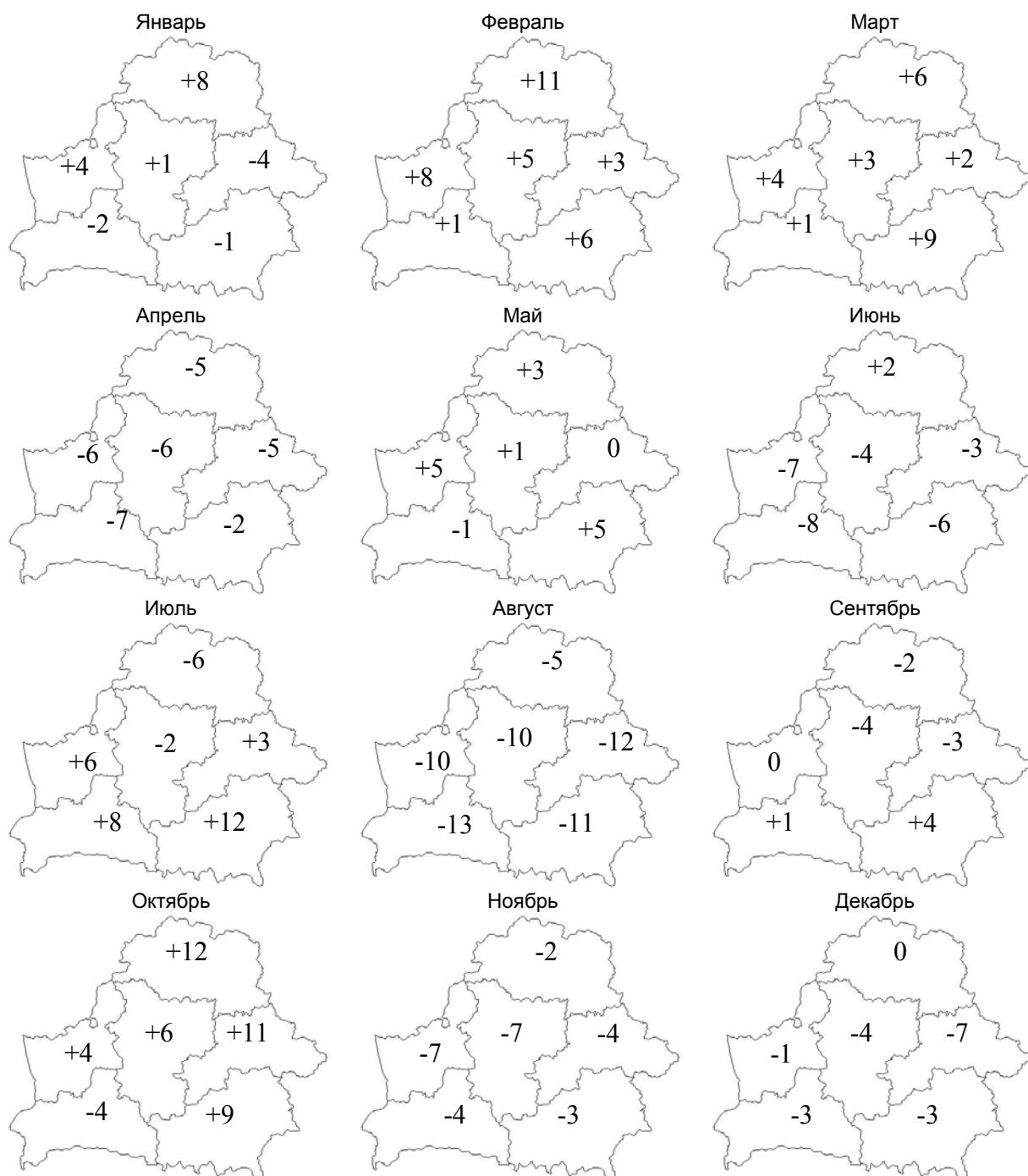


Рис. 1. Отклонения средних значений месячных атмосферных осадков (мм) за период 1989–2009 гг. от многолетних климатических норм

В период современного потепления, начиная с 1989 г., количество выпавших осадков по отношению к многолетней климатической норме повсеместно снизилось в августе и в меньшей степени – в апреле, июне, ноябре и декабре. На большей части территории страны атмосферные осадки в сентябре также уменьшились. При этом следует отметить, что данный вывод касается периода потепления в целом. Так, в частности, результаты многокомпонентного анализа показали, что на всей территории страны в период с

2003 по 2009 г. август характеризуется повышением режима увлажнения, что свидетельствует о неоднозначности наблюдаемых изменений выпадения осадков.

Атмосферные осадки теплого и холодного периодов года. В период современного потепления климата в теплый период года на большей части территории страны, за исключением Гомельской области, отмечается снижение количества выпавших атмосферных осадков по отношению к климатической норме, особенно

значительно проявившееся в Брестской и Минской областях (рис. 2). На севере республики в теплый период выявлено совсем незначительное (на уровне погрешности) уменьшение осадков относительно нормы, сменившееся их значительным увеличением в холодный период года. Территориально осадки в Брестской и Могилев-

ской областях в период современного потепления климата снизились относительно многолетних норм как в теплое, так и в холодное время года, а в Минской области – в теплый период, что полностью совпадает с результатами, полученными академиком В. Ф. Логиновым [3].



Рис. 2. Отклонения от многолетних климатических норм сумм атмосферных осадков (мм) в теплый и холодный периоды и в целом за год на временном интервале 1989–2009 гг.

Только Гомельская область характеризуется на временном отрезке 1989–2009 гг. повышением уровня увлажнения территории как в теплое, так и в холодное время года относительно многолетних климатических норм.

Годовые атмосферные осадки. Для годовых атмосферных осадков проявилась территориальная неравномерность (зональность) их выпадения (рис. 2), однако в процентном отношении отклонение осадков в период потепления от климатических норм незначительно, так как их рост в отдельные месяцы компенсируется падением в другие периоды года.

На юге страны ситуация в Гомельской и Брестской областях различается. На юго-западе в 8 месяцах года отмечено снижение сумм выпавших осадков (на 5 %), особенно заметное в апреле, июне и августе. Эти результаты полностью согласуются с аналогичными, полученными ранее [2].

На севере в Витебской области положительное отклонение атмосферных осадков от многолетней климатической нормы составило

немногим более 3% и было обусловлено повышением осадков в январе–марте и октябре.

В Могилевской области в 7 месяцах отмечено снижение осадков, особенно в августе и декабре, тогда как в октябре произошел их рост.

В Гродненской области в период современного потепления климата величина выпадающих осадков в среднем за год не изменилась по отношению к многолетней климатической норме. Это достигнуто за счет значительного снижения количества осадков в апреле, июне, августе, ноябре и сопоставимого повышения осадков в другие месяцы.

Таким образом, наблюдаемое повышение среднегодовой температуры воздуха сопровождается изменением режима осадков. При этом установлена неравномерность увлажнения территории, связанная с высокой степенью стохастичности временных рядов атмосферных осадков, удовлетворительно описываемых моделью «белого шума». Для температурных рядов характерно так называемое «покраснение спектров» [4].

Литература

1. Камышенко, Г. А. Оценка пространственно-временной однородности рядов температуры воздуха Беларуси / Г. А. Камышенко // Природопользование. 2011. Вып. 20. Минск, 2011. С. 26–34.
2. Камышенко, Г. А. Изменение температурно-влажностного режима на территории Белорусского Полесья / Г. А. Камышенко // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : сб. наўкавых прац. Брэст, 2010. Вып. 3. Т. 1. С. 55–59.
3. Логинов, В. Ф. Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйство) / В. Ф. Логинов. Минск, 2010.
4. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. Минск, 2008.
5. Сачок, Г. И. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко ; под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2006.

6. Сачок, Г. И. Однородность рядов температуры воздуха и атмосферных осадков в Белоруссии в условиях потепления климата / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко // Изв. РАН. Сер. географическая. М., 2006. № 6. С. 48–60.
 7. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. докл. Минск, 2010.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 12.03.2012

Г. А. Камышенко

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ
РЯДОВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

В статье представлены результаты исследования современной территориально-временной изменчивости влажностного режима Беларуси на областном и региональном уровнях за период 1945–2009 гг. Посредством оригинального программного комплекса реализован однокомпонентный и многокомпонентный анализ, что позволило выявить однородные временные интервалы в рядах статистических данных атмосферных осадков как конкретных административных областей, так и комплекса шести областей Беларуси.

Выполнена развернутая количественная оценка динамики атмосферных осадков, выделены особенности выпадения осадков в отдельные месяцы, а также в теплый и холодный периоды года. Сделан вывод, что наблюдаемое повышение среднегодовой температуры воздуха сопровождается изменением режима осадков. При этом установлена неравномерность увлажнения территории, высокая степень стохастичности временных рядов, характеризующих осадки, что связано с событийным характером их выпадения, дискретностью процесса в отличие от температурных рядов, описывающих непрерывный процесс состояния воздушной среды. На уровне годовых осадков проявилась территориальная неравномерность (зональность) выпадения атмосферных осадков, однако в процентном отношении отклонение количества осадков в период потепления от климатических норм незначительно, так как их рост в отдельные месяцы компенсируется падением в другие периоды года.

Полученные результаты являются одной из важнейших составляющих для анализа продуктивности сельскохозяйственных культур, а также перспективны для использования при планировании развития растениеводства с учетом изменяющихся погодно-климатических условий территории Беларуси.

G. A. Kamyshenko

**ESTIMATION OF SPATIAL-TEMPORAL UNIFORMITY
OF NUMBERS OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN BELARUS**

Results of the research of modern territory-spatial variability of moisture mode of Belarus at district and regional levels during 1945–2009 are presented. By means of original program complex the unicompontent and multicomponent analysis was done that has allowed to reveal uniform time intervals in the numbers of the statistical data of atmospheric precipitation of both concrete administrative areas and a complex of six areas of Belarus.

The developed quantitative estimation of the dynamics of atmospheric precipitation is executed, features of precipitation fall in separate months, and also during the warm and cold periods of the year are marked. The conclusion has been made that observable increase of mid-annual air temperature is accompanied by the change of mode of precipitation. The non-uniformity of the territory humidification, high degree of stochasticity of temporal numbers, characterizing the precipitation that is connected with possible character of their fall, discreteness of the process unlike the temperature numbers, describing continuous process of the condition of air environment has been therefore established. At the level of annual precipitation a territorial non-uniformity (zoning) of atmospheric precipitation fall revealed, however in percentage terms a deviation of precipitation quantity in warming from climatic norms is insignificant since their growth in some months is compensated by falling during other periods of the year.

The gained results are one of the major components for the analysis of agricultural crops efficiency, and the perspective for use to plan plants growth development taking into account changing weather-climatic conditions of Belarus territory.

УДК 631.559+551.583 (476)

Ю. А. Бровка

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены экстремальные значения температуры воздуха в период засухи 2010 г. по метеостанциям Беларуси. Проведен сравнительный анализ уровня (доли) урожайности сельскохозяйственных культур в аномальный 2010 г. по отношению к оптимальному по климатическим условиям 2008 г., позволивший количественно оценить изменения урожайности озимых зерновых, яровых зерновых и зернобобовых культур, картофеля и кукурузы на силос в 2010 г. Выявлены особенности территориального распределения нормированной урожайности культур.

Климатические условия вегетационного периода в 2010 г. были аномальными. На территории Беларуси, как и на большей части территории России, в этот год отмечалась сильная засуха, повлиявшая на урожайность сельскохозяйственных культур [2, 5, 6]. Анализ возможных причин аномальной жары летом 2010 г. на территории России и Беларуси, сравнение ее с летней жарой 1972 г., когда наблюдалась одна из наиболее сильных засух на территории бывшего СССР, представлены в работе В. Ф. Логинова [1].

По данным Республиканского гидрометеорологического центра [3] засуха в 2010 г. продолжалась более 1 месяца (с 10 июля по 17 августа), получила распространение в Витебской, Могилевской и Гомельской областях. Максимальная температура воздуха выше 30°C сохранялась в течение 25–34 дней, в том числе часто наблюдалась

максимальная температура воздуха 35 °C и более (сильная жара).

Результаты анализа суточных данных об экстремальных метеорологических показателях в июле и августе 2010 г. обобщены и представлены ниже.

Почти на всех метеостанциях в июле 2010 г. отмечены дни, в которые зафиксированы абсолютные максимумы суточной температуры воздуха за период наблюдений (рис. 1). Большее количество таких дней выявлено главным образом в восточной части Беларуси на следующих метеостанциях: Костюковичи (11 дней), Орша (10 дней), Брагин и Гомель (9 дней), Сенно и Славгород (8 дней). На остальных метеостанциях число дней с экстремальными температурными показателями колеблется от 1 (Лельчицы) до 7 (Жлобин, Октябрь).



Рис. 1. Территориальное распределение числа дней в июле 2010 г. с абсолютными суточными максимумами температуры воздуха за период наблюдений

По сравнению с июлем в августе 2010 г. выявлено значительно большее число дней, в которые отмечались абсолютные максимумы суточных температур воздуха на метеостанциях за период наблюдений: от 3–5 на западе и юго-

западе страны до 12–15 в восточном регионе, на юго-востоке и северо-востоке. Распределение по территории Беларуси количества дней с максимальными суточными температурами воздуха в августе 2010 г. представлено на рис. 2.



Рис. 2. Территориальное распределение числа дней в августе 2010 г. с абсолютными суточными максимумами температуры воздуха за период наблюдений

Следует отметить, что хотя самым жарким месяцем года на территории Беларуси считается июль, наиболее высокие значения максимальных суточных температур воздуха в конкретные дни на метеостанциях наблюдались в августе 2010 г. Особенно четко эти различия проявляются для следующих метеостанций (табл. 1).

Таблица 1. Абсолютные суточные максимумы температуры воздуха за период наблюдений, зафиксированные на метеостанциях в июле и августе 2010 г.

Метеостанция	Июль, °C	Август, °C
Березино	31,0–33,6	30,5–36,2
Бобруйск	29,7–34,9	32,6–38,0
Борисов	32,3–33,4	32,7–35,6
Брагин	30,4–35,5	33,9–38,1
Василевичи	33,6–35,6	34,2–37,6
Вілейка	31,0–32,9	30,2–36,0
Витебск	30,6–34,7	31,0–37,8
Гомель	30,6–35,9	34,0–38,9
Горки	32,1–35,3	32,7–38,7
Докшицы	30,7–32,9	29,9–35,7
Езерище	30,7–33,6	28,8–36,2
Кличев	29,5–34,7	31,3–37,7
Костюковичи	30,2–36,0	31,0–38,8
Лельчицы	31,8	32,9–38,2
Могилев	31,9–34,3	30,6–36,8
Мозырь	32,9–33,8	32,0–36,4
Октябрь	31,0–35,8	32,2–37,9
Орша	31,0–34,4	31,5–38,2
Сенно	30,6–34,5	29,6–37,4
Славгород	32,7–34,9	30,4–37,8
Шарковщина	28,7–33,0	31,9–35,6

Представленные выше результаты исследований, а также работы многих авторов [1, 2, 5, 6] свидетельствуют об аномальности погодных условий в вегетационный период 2010 г.: отмечены высокие температурные аномалии, засушливые явления и засуха, повлиявшие на уровень урожайности сельскохозяйственных культур в 2010 г.

В качестве антипода 2010 г. по урожайности основных сельскохозяйственных культур выбран 2008 г. Для этого года характерна более высокая за последние 10 лет урожайность озимых зерновых, яровых зерновых и зернобобовых культур, картофеля, хотя урожайность кукурузы на силос была несколько ниже, чем в 2010 г. (табл. 2).

Климатические условия в 2008 г. незначительно отличались от климатической нормы; не наблюдалось засух, заморозков (кроме 1–2 ночей со слабыми заморозками в воздухе на востоке страны и на Полесье), которые могли бы вызвать повреждение и гибель культур.

Проведенные расчеты показали высокие ГТК (2,1–4,1) на многих метеостанциях в мае (т. е. переувлажнение территории). В июне для ряда метеостанций характерны значения ГТК = 0,4–0,7 (т. е. непродолжительные засушливые условия), которые, вероятно, на фоне избытка увлажнения в мае существенно не повлияли на урожайность сельскохозяйственных культур и не привели к ее потерям. Засушливые условия отмечались на таких метеостанциях, как Бере-

зинский заповедник, Барановичи, Березино, Борисов, Брагин, Брест, Верхнедвинск, Воложин, Гомель, Горки, Ивацевичи, Кличев, Лельчицы, Лепель, Лида, Нарочь, Ошмяны, Пинск, Полесская, Погоцк, Сенно, Столбцы, Шарковщина.

Представленный в экологическом бюллетени анализ климатических условий 2008 г. [4] показал, что в этот год на территории Беларуси отмечался май с низкими температурами воздуха (+11,9 °C, что на 1,1 °C ниже климатической нормы) в сочетании с обильными осадками (148 % нормы). Средняя по стране температура воздуха в июне была близка к климатической норме (+16,3 °C), а количество осадков – ниже нормы (46 %). В июле средняя температура воздуха превысила климатическую норму на 0,4 °C (+18,2 °C), а количество осадков – на 11 %. В августе отмечена значительная температурная аномалия (1,7 °C), средняя температура воздуха +18,2 °C и близкое к норме количество осадков

(94 %), что обеспечило удовлетворительные условия уборки урожая. В сентябре средняя температура воздуха (+11,9 °C) и количество осадков в целом по Беларуси соответствовали климатической норме.

В 2010 г. достаточно влажными были май и сентябрь. В эти месяцы отмечалось переувлажнение значительной части территории Беларуси: ГТК в мае увеличивалось до 3,0, а в сентябре – до 0,4 и более. В летний период наблюдались засушливые явления преимущественно в северной и юго-восточной частях страны, а также участки с избыточным увлажнением на западе и северо-западе Беларуси. Засуха охватила наибольшую площадь в июле (ГТК = 0,1–0,7), а избыточное увлажнение – в июне (ГТК = 2,1–3,5).

Сравнительная характеристика урожайности сельскохозяйственных культур и показателей ее изменчивости в 2008 и 2010 гг. приведена в табл. 2.

Таблица 2. Статистические характеристики изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур в районах Беларуси в 2008 и 2010 гг.

Статистический показатель	Год	Сельскохозяйственная культура			
		озимые зерновые	яровые зерновые и зернобобовые	картофель	кукуруза на силос
Среднее	2010	25,4	27,7	169,8	258,1
	2008	33,1	34,9	194,3	232,1
Стандартная ошибка	2010	0,8	0,8	6,3	5,3
	2008	0,9	0,8	5,0	4,9
Минимум	2010	12,7	13,9	38,0	135,0
	2008	18,7	21,5	69,0	136,0
Максимум	2010	59,8	54,7	367,0	415,0
	2008	70,0	65,6	380,0	374,0
Стандартное отклонение	2010	8,6	8,5	68,9	57,6
	2008	10,03	8,3	54,0	53,3
Дисперсия выборки	2010	73,7	72,5	4741,0	3312,0
	2008	100,7	68,9	2913,1	2840,6
Коэффициент вариации	2010	0,34	0,31	0,41	0,22
	2008	0,30	0,24	0,28	0,23

Как видно из табл. 2, в 2010 г. отмечалась более низкая средняя по районам урожайность озимых, яровых зерновых и зернобобовых культур, картофеля, более низкие ее минимальные и максимальные значения. Вычисленный коэффициент вариации позволил сопоставить территориальную изменчивость урожайности различных культур между собой и в разные годы. Полученные результаты показали, что наибольшие колебания в 2010 г. характерны для урожайности картофеля, наименьшие – для урожайности кукурузы на силос, причем различия урожайности весьма существенны. В 2008 г. меньшей пространственной изменчивостью отличается урожайность кукурузы на силос и яровых зерновых и зернобобовых культур, большей – урожайность озимых зерновых культур, хотя различия не столь велики, как в 2010 г. Следует отметить, что

коэффициенты вариации урожайности культур, кроме кукурузы на силос, в 2008 г. были ниже, чем в 2010 г. Это особенно характерно для картофеля.

Как известно, урожайность сельскохозяйственных культур определяется многими факторами, среди которых наиболее важными являются почвенные условия, уровень агротехники (включает обработку почвы, внесение удобрений, уход за посевами, уборку урожая и т. д.) и погодно-климатические условия.

На территории Беларуси в 2010 г. по сравнению с 2008 г. не произошло существенного изменения как почвенных условий, так и уровня агротехники. Сопоставив урожайность культур в районах страны за эти два года, можно выявить территориальные особенности изменения урожайности культур в 2010 г., связанные именно с

погодными условиями. Следует отметить, что в проводимых исследованиях 2008 г., в который получены наиболее высокие за 10-летний период урожаи многих культур, рассматривается как оптимальный с точки зрения агроклиматических условий. Территориальные различия оценки нормированных отношений урожайности основных сельскохозяйственных культур, которые определяются погодными условиями вегетационных периодов в 2010 и 2008 гг., представлены на рис. 3.

В 2010 г. почти на всей территории Беларусь урожайность озимых зерновых культур была

ниже уровня 2008 г., за исключением трех южных районов Гомельской области (Житковичского, Мозырского и Хойникского). На большей части территории Беларусь урожайность озимых зерновых культур составила 0,5–0,79 (или 50–79 %) от уровня 2008 г. Такие ее значения отмечены в основном в северных и центральных районах страны, а также в некоторых южных и юго-восточных районах. На остальной территории (на востоке и в южной части страны) урожайность озимых зерновых культур в 2010 г. по отношению к урожайности в 2008 г. составила 0,80–0,99.

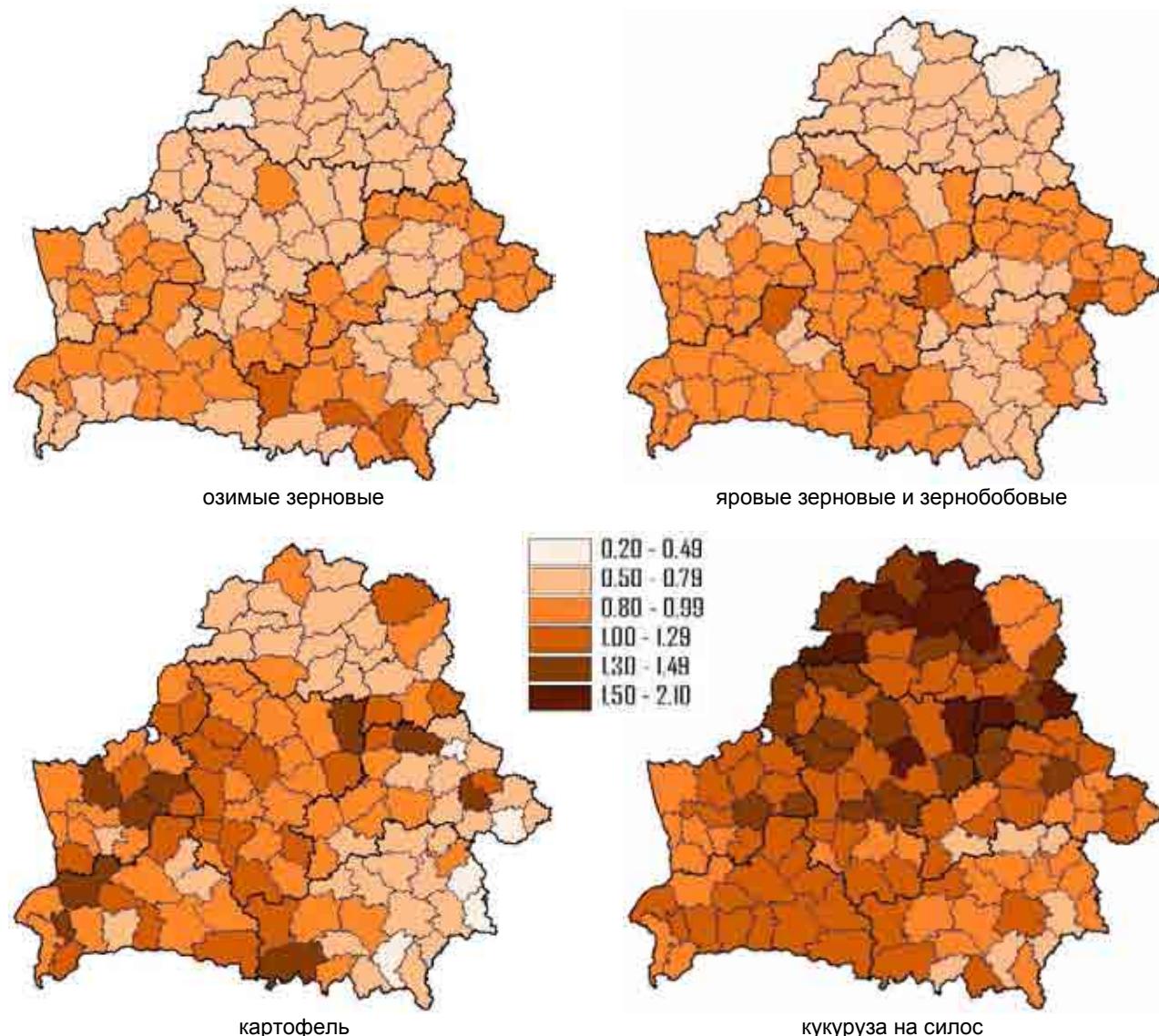


Рис. 3. Территориальное распределение нормированных значений урожайности сельскохозяйственных культур в 2010 г., в долях от уровня 2008 г.

Несколько иная картина характерна для территориального распределения нормированной урожайности яровых зерновых и зернобобовых культур (см. рис. 3). Как и для озимых зерновых культур, в 2010 г. почти на всей территории Беларусь она ниже, чем в 2008 г. Сократилась

площадь, на которой урожайность культур на 21–50 % ниже уровня 2008 г.: север и северо-запад страны, юго-восточные и некоторые восточные районы. Соответственно увеличилась площадь с более высокой долей урожайности яровых зерновых и зернобобовых культур (0,80–0,99 от

уровня 2008 г.). В 2010 г. в Барановичском, Осовицком, Краснopolльском и Житковичском районах урожайность культур была близка к уровню 2008 г.

Следует отметить, что в 2010 г. в большинстве случаев более высокая по сравнению с 2008 г. урожайность зерновых культур наблюдалась в районах с достаточным увлажнением в мае–июле ($\Gamma\text{TK} = 0,8\text{--}2,0$) или переувлажнением в мае (ΓTK более 2,0). Засуха отмечалась в некоторых районах (Мозырском, Хойникском, Краснopolльском) в июле и августе (период уборки), что существенно не сказалось на урожайности культур.

Урожайность картофеля была ниже на 21–50 % в 2010 г. по сравнению с урожайностью в 2008 г. преимущественно в северном, юго-восточном и восточном регионах; а в Хойникском, Ветковском и Добрушском районах она была ниже на 51–54 %, в Дрибинском и Костюковичском районах – на 78–80 %. Значительную площадь занимают районы с нормированной урожайностью картофеля, составляющей 0,8–0,99 от уровня 2008 г. Для многих районов юго-западной половины Беларуси, некоторых районов на северо-востоке и востоке страны характерна урожайность картофеля, доля которой составляет 1–1,29 по сравнению с уровнем 2008 г., а в некоторых районах (Шкловском, Пружанском, Чериковском, Крупском, Щучинском, Лельчицком, Новогрудском, Жабинковском, Дятловском) даже превосходит 1,3. Высокая урожайность картофеля в Шкловском, Чериковском и Лельчицком районах, охваченных засухой в июле или августе 2010 г., может быть объяснена достаточной увлажненностью территории в предшествовавшие засухе месяцы, а также почвенным плодородием в двух первых районах.

Урожайность кукурузы на силос в 2010 г. на большей части территории Беларуси превышает уровень 2008 г., в отдельных районах соответствует ему. Преобладают районы с нормированной урожайностью 1–1,29. Более высокая урожайность кукурузы наблюдается главным образом в Витебской области, а также в северной и центральной частях Минской области, отдельных районах Могилевской и Гродненской областей

(см. рис. 3). На этой территории урожайность кукурузы на 30–49 % выше, чем в 2008 г., а в ряде районов (Смолевичском, Миорском, Крупском, Шумилинском, Толочинском, Россонском, Поставском, Дубровенском, Полоцком) – на 55–109 %. Вероятно, это можно объяснить ростом теплообеспеченности растений в вегетационный период 2010 г. Более низкая урожайность кукурузы на силос отмечена в юго-восточном, в меньшей степени восточном регионах, в самых западных, юго-западных и северо-восточных районах (0,8–0,99 от уровня 2008 г.). В Лоевском, Ельском, Рогачевском, Гомельском, Бобруйском, Хойникском и Кормянском районах урожайность кукурузы составила 0,5–0,79 по отношению к 2008 г., что, скорее всего, связано с почвенно-климатическими условиями (засухой в летние месяцы и более значительным ее проявлением на легких по механическому составу почвах).

Таким образом, анализ пространственной изменчивости и уровня урожайности сельскохозяйственных культур при аномальных погодных условиях в 2010 г. по сравнению с 2008 г. показал следующие результаты. В 2010 г. отмечено значительное снижение (на 20–50 %) урожайности озимых зерновых на большей части территории Беларуси, урожайности яровых зерновых и зернобобовых культур и картофеля – в северной, а также в юго-восточной и восточной частях страны. Урожайность зерновых и зернобобовых культур почти во всех районах в 2010 г. была ниже, чем в 2008 г. Урожайность же картофеля во многих районах юго-западной части Беларуси, некоторых районах на северо-востоке и востоке страны близка к уровню 2008 г. или даже превышала его (иногда на 30–45 %). При сложившихся в 2010 г. агроклиматических условиях главным образом в северной части Беларуси наблюдается увеличение урожайности кукурузы на силос на 30–50 %, а в отдельных районах – на 55–109 % (в основном в Витебской области). Преобладают районы с урожайностью кукурузы на силос, превышающей уровень 2008 г. Более низкая урожайность кукурузы отмечена в ряде юго-восточных и восточных районов, а также в некоторых районах на западе и северо-востоке страны.

Л и т е р а т у р а

1. **Логинов, В. Ф.** О возможной причине жаркого лета 2010 г. / В. Ф. Логинов // Природопользование. 2010. Вып. 18. Минск, 2010. С. 5–8.
2. **Мещерская, А. В.** Засуха 2010 г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зерносеющих районах Европейской части России / А. В. Мещерская, В. М. Миравис, М. П. Голод // Тр. ГГО им. А. И. Воейкова. СПб., 2011. Вып. 563. С. 94–119.
3. Обзор опасных гидрометеорологических явлений и климатических особенностей Республики Беларусь в 2010 году / ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр». Минск, 2011.
4. Состояние природной среды Беларусь : эколог. бюл. 2008 г. / под общ. ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2009.
5. **Фролов, А. В.** О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур / А. В. Фролов, А. И. Страшная // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года : сб. докл. совмест. засед. Президиума науч.-техн. совета Росгидромета и науч. совета Рос. акад. наук «Исследования по теории климата Земли» / под ред. Н. П. Шакиной. М., 2011. С. 22–31.

6. Шкаликов, В. А. Аномальная погода летнего периода 2010 года и ее последствия в отдельных регионах России и на Смоленщине / В. А. Шкаликов, М. Л. Анисимов // Изв. Смоленского гос. ун-та. Смоленск, 2011. № 2 (14). С. 117–126.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 24.02.2012

Ю. А. Бровка

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

На территории Беларуси 2010 г. характеризовался аномальностью погодных условий в период вегетации – засухой в июле и августе, которая сочеталась с сильной жарой, что повлияло на продуктивность сельскохозяйственных угодий. Представлены результаты оценки экстремальных значений температуры воздуха в период засухи 2010 г. по метеостанциям Беларуси. В июле и августе 2010 г. на многих метеостанциях превышены как абсолютный максимум температуры воздуха в эти месяцы, так и суточные максимумы температуры воздуха за период наблюдений. Количество дней с экстремальными значениями суточной температуры воздуха увеличивается в восточном направлении до 8–11 в июле и до 12–15 в августе. Наиболее высокие значения абсолютных максимумов суточной температуры воздуха наблюдаются в августе (+35,6–+38,9 °C).

Проведен сравнительный анализ уровня урожайности озимых зерновых, яровых зерновых и зернобобовых культур, картофеля и урожайности кукурузы на силос в 2010 г. по отношению к 2008 г., который отличается оптимальными для сельскохозяйственных культур погодно-климатическими условиями. Почти на всей территории Беларуси в 2010 г. урожайность зерновых и зернобобовых культур была ниже, чем в 2008 г. Преобладают районы с нормированной урожайностью озимых зерновых культур 0,5–0,79 от уровня 2008 г. Снижение урожайности яровых зерновых и зернобобовых культур и картофеля в 2010 г. на 20–50 % отмечено в северных, юго-восточных и восточных районах Беларуси. На значительной площади нормированная урожайность этих культур составляет 0,8–0,99 от уровня 2008 г. Преимущественно в юго-западной части страны наблюдается увеличение урожайности картофеля (до 30–45 %) по сравнению с 2008 г. Урожайность кукурузы на силос в 2010 г. в большинстве районов Беларуси превышает уровень 2008 г. В северной части страны отмечено ее увеличение на 30–49 %, в отдельных районах – на 55–109 %.

С использованием методов ArcView результаты исследования представлены в виде картографического материала.

J. A. Brovka

SPACIAL VARIABILITY OF THE CROP YIELD LEVEL AT ANOMALOUS WEATHER CONDITIONS

The year of 2010 was characterized by weather conditions abnormality in vegetation period on the territory of Belarus – by drought in July and August along with fierce heat that has affected agricultural land productivity. The results of atmospheric air temperature extremes assessment for weather station of Belarus in drought period in 2010 are given. Atmospheric temperature absolute maximum and atmospheric temperature daily maximums exceeded at many weather stations over a period of observations in July and August 2010. Number of days with daily atmospheric temperature extremes rise eastwards to 8–11 in July and to 12–15 in August. The highest daily atmospheric temperature absolute maximums are observed in August (+35,6–+38,9 °C).

A comparative analysis of yield level of winter crops, spring cereals and leguminous plants, potato and silage corn was carried out in 2010 referring to 2008, which is notable with optimal weather-climate conditions for agricultural crops. The cereal and leguminous plants yield was below the level of 2008 practically on the whole of Belarus territory in 2010. The districts with normalized winter crops yield 0,5–0,79 from the 2008 level are prevalent. The spring crops and leguminous plants productivity lowering in 2010 by 20–50 % was observed in the north, southeast and east districts of Belarus. On considerable area a normalized yield of those crops is 0,8–0,99 from the year of 2008 level. The potato yield rise to 30–45 % as compared to 2008 is observed mainly in southwest part of the country. The silage corn yield exceeds the 2008 level in 2010 in most districts of Belarus. Its increase by 30–49 % in the northern part of the country was registered, and by 55–109 % – in some districts.

The research results are given as a map material using the ArcView methods.

УДК 550.42 (476)

А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, В. В. Лосич, А. П. Иваненко

КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ НА СМЕЖНЫХ ПЛОЩАДЯХ БЕЛОРУССКОЙ АНТЕКЛИЗЫ И ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА (БЕЛАРУСЬ)

По данным полевых измерений выявлены особенности распределения концентраций радона в почвенном воздухе, которые варьируются от 1–2 до 60–75 тыс. Бк/м³. Анализ геологического строения изученной территории показал, что повышенные содержания этого газа коррелируются с положением зон разрывных нарушений и в меньшей степени с особенностями состава верхней части толщи четвертичных отложений.

В последние годы значительно возрос интерес специалистов к радоновой проблематике, что в первую очередь связано с неблагоприятным воздействием этого газа на экологическую обстановку. В частности, многие исследователи считают, что радоновые аномалии значительно опаснее радиоактивных выбросов при техногенных катастрофах на АЭС. По материалам ООН, в ежегодном облучении человечества доля воздействия продуктов различных испытаний составляет 0,7 %, от работы АЭС – 0,3, при медицинских обследованиях – 34, естественных природных факторов – 22, а продуктов распада радона – 43 [5]. Именно поэтому изучению концентраций этого газа как в почвенном воздухе, так и в воздухе жилых и производственных помещений уделяется серьезное (но все-таки еще недостаточное) внимание во многих странах мира, в том числе и в Беларуси. Подобные исследования в нашем регионе проводятся Объединенным институтом энергетических и ядерных исследований и Институтом природопользования НАН Беларуси, Геофизической экспедицией РУП «Белгеология», Республиканским центром гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья, Республиканским научно-практическим центром радиационной медицины и экологии человека Минздрава РБ, Институтом радиологии Министерства по чрезвычайным ситуациям и некоторыми другими организациями. Однако до настоящего времени отмечается нехватка данных для выполнения детального районирования территории Беларуси по степени радоновой опасности, остаются дискуссионными вопросы генезиса радоновых аномалий и их геопатогенности. Некоторые из этих вопросов рассмотрены в представленной статье.

Основные выводы публикации основаны на результатах полевых измерений концентраций радона в почвенном воздухе, выполненных по профилю Медвиновичи – Красная Слобода сотрудниками Геофизической экспедиции РУП «Белгеология». Этот профиль, протяженностью около 140 км, пересекает серию разрывных нарушений разного ранга, площади с различным

составом пород фундамента, чехла и четвертичной толщи, разной глубиной залегания поверхности кристаллических пород. В тектоническом отношении территория приурочена к южной части Белорусской антеклизы и крайней северо-западной части Припятского прогиба (рис. 1).

Измерения содержания объемной активности радона производились прибором «Радон-М», имеющим метрологическое обеспечение. Использована методика с отбором проб воздуха в шпурах с перекрытием. Шпур подготавливается вручную на глубину до 0,6–0,8 м. В шпур помещался зонд (воздухоотборник). Обращалось особое внимание на то, чтобы при отборе пробы не было подсоса воздуха в прибор из атмосферы, поэтому земля вокруг стенок зонда уплотнялась.

Измерение концентраций радона выполнялось в следующей последовательности: зонд устанавливался в шпур, стенки которого хорошо герметизировались, исключалось попадание конца зонда в воду; резиновым шлангом зонд соединялся с измерительным пультом радонометра; измерялся фон камеры; воздух из зонда переводился в измерительную камеру насосом; краны камеры закрывались и примерно через 15–20 с после окончания прокачивания воздуха фиксировался сцинтилляционный эффект в течение 2 мин; после регистрации ионизационного тока эманация выкачивалась из камеры насосом; прибор переносился в другую точку.

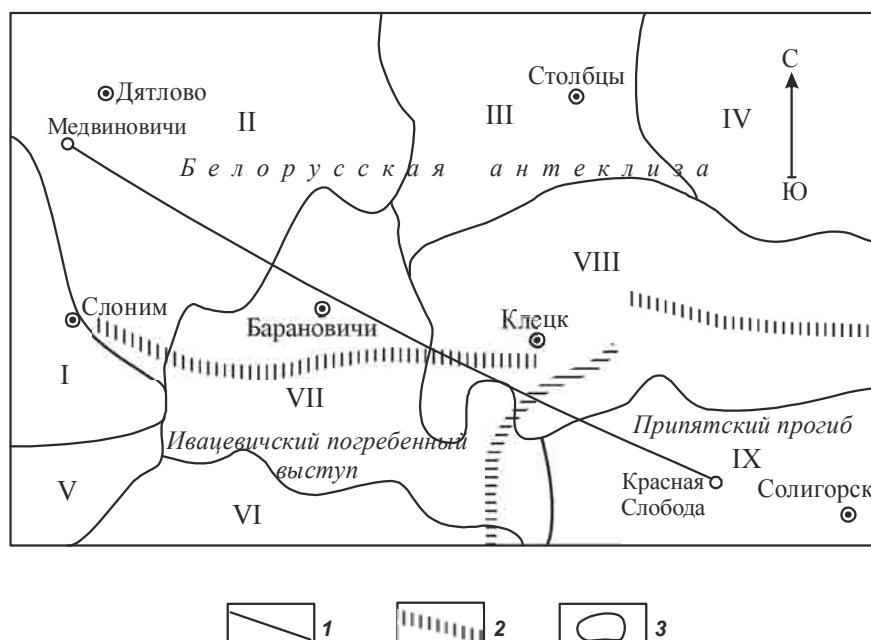
Непременным условием доброкачественного выполнения измерений являлась систематическая проверка в течение дня вакуума в системе: зонд – осушитель – камера – насос и свободного прохождения подпочвенного воздуха из шпура в камеру. Результаты измерений, время, погодные и ландшафтные условия измерений заносились в журнал.

Измерения проводились с шагом 100–250 м. На участках распространения болотных отложений из-за трудной доступности местности дистанция между реперными точками могла возрастать до 0,3–1 км. Полевые наблюдения показали, что фоновые значения концентраций радона составляют около 10 000 Бк/м³, пределы же

колебаний в основном изменяются от 1–2 тыс. до 50–55 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$ (единично до 60–75 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$). Вариации этих значений от 1–2 тыс. до 20 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$ можно рассматривать как близкие к фону. Колебания в этих пределах, скорее всего, объясняются допустимой ошибкой измерений и разными климатическими параметрами, которые изменились в процессе работ (температура, давление, влажность). Величины, превышающие 20 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$, следует считать в разной степени

аномальными. Всего выделено 15 радионовых аномалий, для каждой из которых характерно от 1–3 до 10 и более пиков повышенных концентраций исследуемого газа (рис. 2).

Для установления природы выделенных аномалий анализировались материалы бурения и геофизических съемок, проведенных в разные годы организациями РУП «Белгеология», различные карты [8, 11, 19, 20], монографические издания [7, 15] и некоторые другие публикации.



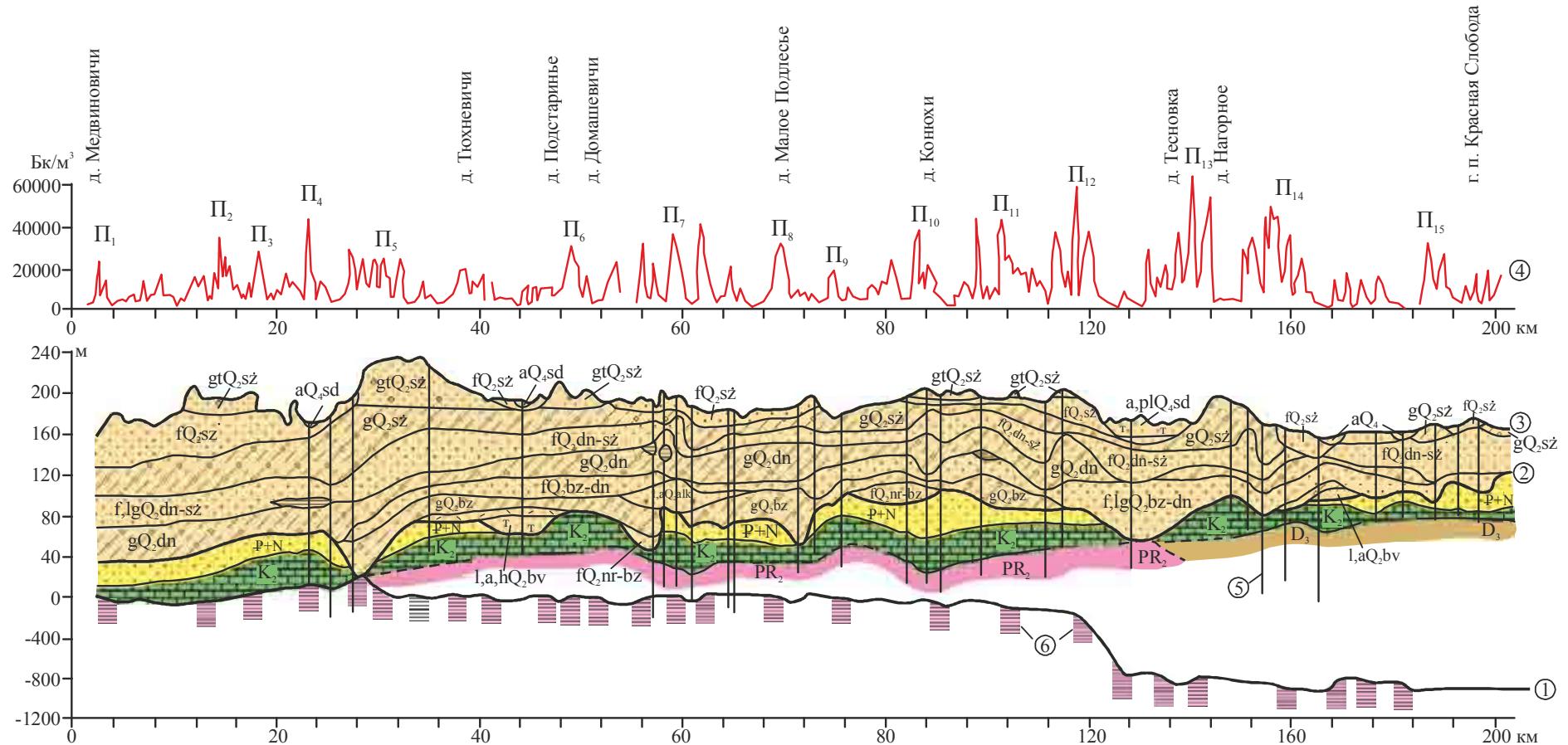


Рис. 2. Распределение концентраций радона в приповерхностном слое отложений по профилю Медвиновичи – Красная Слобода:

1 – поверхность фундамента; 2 – поверхность коренных (дочетвертичных) пород; 3 – земная поверхность; 4 – график концентраций радона в почвенном воздухе; 5 – буровые скважины; 6 – разрывные нарушения фундамента. Типы и возраст отложений: аллювиальные мелкозернистые пески (aQ_{4sd}) и болотные отложения (pIQ_{4sd}) судобльского возраста; краевые ледниковые образования (разнозернистые пески, песчано-гравийный материал (gtQ_{2sz})), флювиогляциальные разнозернистые пески (fQ_{2sz}), моренные супеси и суглинки (gQ_{2sz}) сожской стадии припятского оледенения; нерасчлененные флювио- и лимногляциальные разнозернистые пески днепровско-сожского времени (f, IgQ_{2dn-sz}); моренные супеси и суглинки днепровской стадии припятского оледенения (gQ_{2dn}); нерасчлененные флювио- и лимногляциальные разнозернистые пески березинско-днепровского времени (f, IgQ_{2bz-dn}); моренные супеси и суглинки березинского оледенения (gQ_{2bz}); аллювиальные мелко- и среднезернистые пески, глины, торф александрийского (ℓ, a, hQ_{2alk}) и беловежского (ℓ, a, hQ_{2bv}) межледниковых; глауконитово-кварцевые пески, песчано-глинистые отложения палеоген-неогенового возраста ($P+N$); меловые отложения (K_2); девонские отложения (D_2); верхнепротерозойские отложения (PR_2); П1-15 – аномальные концентрации радона

аномалий 2, 9, 11, 12, 14, 15 в фундаменте выделяются метаморфические породы среднего и основного состава.

Таким образом, получается, что к породам, характеризующимся наименьшим содержанием урана (метаморфические породы среднего и основного состава), приурочена основная часть радионовых аномалий. Следовательно, повышенные концентрации анализируемого газа никак не могут быть объяснены особенностями состава этих пород. На размещении радионовых аномалий не сказывается и глубина залегания фундамента, которая на большей части профиля тяготеет к абсолютным отметкам от -200 м до +30 м, постепенно увеличиваясь в юго-восточном направлении. В районе деревень Нагорное, Тесновка происходит резкое падение этого показателя до отметок -800–900 м. Повышенные концентрации радона приурочены на участках аномалий 1–6 к отметкам кровли кристаллических пород от -50 м до +30 м, 7–10 – -50–100 м, 11, 12 – -100–200 м, 13–15 – -800–1000 м.

В залегающем на фундаменте платформенном чехле в районе исследований преобладают разные структурные комплексы. На участке от деревень Нагорное, Тесновка до г. п. Красная Слобода основным является среднедевонско-среднетриасовый (герцинский) комплекс мощностью до 200–500 м (в составе преобладают сульфатно-терригенная, терригенная пестроцветная, карбонатная сероцветная, галогенная формации). К северо-западу от д. Нагорное по линии профиля до д. Малое Подлесье в чехле ведущим является верхневендско-нижнекембрийский (верхнебайкальский) комплекс мощностью до 200 м (континентальная гравелито-песчаная, траповая, вулкано-миктовая конгломерато-песчаная и морская песчано-глинистая формации). Еще далее к северо-западу, примерно до д. Домашевичи, в платформенном чехле наиболее распространен нижнекембрийско-нижневендский (нижнебайкальский) комплекс мощностью до 200 м, сложенный красноцветной терригенной олигомиктовой и покровно-ледниковой формациями. И наконец, северо-западнее д. Домашевичи, на породах кристаллического фундамента часто залегают только маломощные меловые, палеогеновые и четвертичные отложения. Выявленные радионовые аномалии относительно равномерно распределены в пределах всего района исследований и, соответственно, их трудно увязать с определенными структурными комплексами (формациями, породами) чехла.

Примерно такая же картина наблюдается и при корреляции площадей радионовых аномалий с отложениями непосредственно подстилающими четвертичную толщу. Эти отложения представлены чередованием меловых мелов и палеогеновых песков. Выявленные участки повышенных содержаний радона встречаются с одинако-

вой частотой на площадях распространения как меловых, так и палеогеновых пород.

Учитывая небольшой период полураспада основного изотопа радона ($Rh-222$), равный около 3,8 суток, было естественным предположить, что его максимальные концентрации в почвенном воздухе должны увязываться с определенными типами материнских пород почв – четвертичных отложений, особенно с учетом того, что содержание урана в песчаных и глинистых толщах этого возраста заметно различается (средние концентрации составляют соответственно $2 \cdot 10^{-4}$ и $4 \cdot 10^{-4}$ мас. %).

Строение четвертичного покрова на исследованной территории довольно однородное. Мощности варьируют от 60–80 м в юго-восточной части до 150–170 м (преобладают). В толще на основной территории представлены главным образом отложения березинского и припятского (днепровского и сожского) ледниковых комплексов. В районе г. п. Красная Слобода разрез несколько упрощается. Здесь распространены только сожские моренные, сожско-днепровские флювиогляциальные отложения и голоценовый аллювий. Из генетических типов четвертичных отложений чаще всего встречаются конечно-моренные образования (переслаивание песков, песчано-гравийной смеси, валунных супесей и суглинков), моренные супеси, суглинки и флювиогляциальные пески. При этом на долю конечно-моренных отложений приходится от 0 до 25–30 % объема четвертичной толщи, моренных комплексов – от 50 до 80 % (в юго-восточной части профиля около 10–15 %), флювиогляциальных песков – 20–50 %, в юго-восточной части – до 80 %. Исходя из особенностей состава четвертичных отложений, можно предположить, что выделенные радионовые аномалии должны тяготеть к площадям повышенных мощностей глинистых отложений, которые представлены моренными супесями, суглинками, реже глинами. В действительности же аномалии относительно равномерно распределены по линии профиля, а доля глинистых отложений в их пределах варьирует в большом диапазоне: на участках аномалий 3, 4, 11 на морены в разрезе приходится около 60 %; 5, 8, 12 – около 70 %; 9, 14 – около 50 %; 6, 7, 10 – примерно 30–40 %; 13, 15 – от 20 до 50 %. Следовательно, радионовые аномалии сформировались как на площадях, где в разрезе заметную роль играют моренные отложения, так и на участках с достаточно широким распространением песчаных слоев. Зато обращает на себя внимание тот факт, что многие радионовые аномалии тяготеют к площадям более сложного строения четвертичной толщи (распространение ледниковых врезов, погребенных аллювиальных и озерно-аллювиальных толщ – аномалии 5–8, 10–15).

Наконец, несомненный интерес представляет соотношение радоновых аномалий и покровных отложений разного состава. Так, повышенные количества радона в почвенном воздухе выделены на площади следующих генетических типов отложений: 1–3, 7, 8 – флювиогляциальные пески (концентрации радона до 27–42 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$); 4 – аллювиальные и флювиогляциальные пески (до 46 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$); 5 – краевые ледниковые образования (пески, песчано-гравийные смеси, валуны, валунные супеси) (до 32 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$); 6, 11, 12 – краевые ледниковые образования и флювиогляциальные пески (до 33–56 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$); 9 – моренные супеси и суглинки (до 23 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$); 10 – краевые ледниковые образования и моренные супеси и суглинки (до 40 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$); 13, 15 – моренные супеси, суглинки и аллювиальные пески (до 35–60 тыс. и более $\text{Бк}/\text{м}^3$); 14 – моренные супеси, суглинки и флювиогляциальные пески (до 55 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$). Из приведенных данных следует, что радоновые аномалии сформировались на разных генетических типах отложений, однако обращает на себя внимание тот факт, что наиболее высокие концентрации (свыше 40 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$) в основном тяготеют к площадям распространения краевых ледниковых образований и моренных отложений, причем в том случае, если среди краевых образований преобладают песчаные разности (аномалия 12), то ниже песков залегает мощный (свыше 40–50 м) слой морены.

В единственном случае относительно высокие концентрации (до 42 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$) радона установлены по флювиогляциальным отложениям, но и в этом случае под толщей песков вскрыта почти 40-метровая толща валунных супесей и суглинков. Следовательно, покровные отложения играют определенную роль в формировании радоновых аномалий, особенно наиболее глинистые разности морен и содержащие повышенное количество валунного материала конечно-моренные образования. Эти типы отложений имеют наиболее высокое содержание урана, под влиянием которого формируется так называемый «местный радон», доля которого, исходя из расчетов [2], может на фоновых территориях составлять 25–50 % общего содержания этого газа в почвенном воздухе.

Наконец, анализируя особенности размещения радоновых аномалий, нельзя не обратить внимание на их частую приуроченность к зонам разрывных нарушений. Об этом ранее неоднократно сообщалось в печати [1, 2, 10, 14] и довольно наглядно проявляется на исследованной территории. Размещение разрывных нарушений на рис. 1 показано по результатам интерпретации геофизических данных и материалам ряда публикаций [3, 11, 19]. Сопоставление выделенных радоновых аномалий и зон разломов свидетельствует о следующем: аномалии 1, 3, 5, 6, 9,

11, 14, 15 довольно однозначно приурочены к зонам одного или нескольких локальных разломов, которые по геофизическим данным не проникают в чехол. Только иногда перечисленные аномалии и разломы несколько смещены по отношению друг к другу, что может указывать на наклонный характер зон нарушений. Аномалии 2, 4 коррелируются соответственно с положением Козловщинского и Коссовского региональных непроникающих в чехол разломов; 7 и 8 – соответственно с Кореличским и Минским суперрегиональными непроникающими в чехол разломами; 12 – с Ляховичским проникающим в чехол региональным разломом и серией локальных нарушений; 13 – с Любешевским суперрегиональным непроникающим в чехол разломом. Из всех выделенных аномалий только 10-я (район д. Конюхи) недостаточно однозначно увязывается с зоной разрывных нарушений, хотя и здесь с некоторой степенью условности можно считать, что площадь высоких концентраций радона в почвенном воздухе расположена между двумя зонами трещиноватости, имеющих наклонный характер. Некоторым отклонением от установленной сопряженности аномалий и зон разломов является участок между деревнями Тюхневичи и Подстаринье, где профиль измерений пересекает Воложинский региональный непроникающий в чехол разлом и несколько локальных разрывных нарушений, однако четко выраженного повышения концентрации радона в почвенном воздухе здесь не установлено, хотя и отмечается небольшой рост его содержаний (от 1–2 тыс. до 20 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$), причем форма кривой, отражающей изменение этого показателя, в значительной степени подобна той, которая характерна для четко проявляющихся аномалий. Небольшое повышение концентрации исследуемого газа на данном участке, вероятно, можно объяснить относительной динамической стабильностью соответствующего блока (блоков) земной коры. Тем более, что влияние активности процессов в зоне разломов на концентрации радона в почвенном воздухе не вызывает сомнений. Так, наиболее заметно проявляющиеся аномалии (> 40 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$) приурочены к разломам разного ранга, но в зонах этих нарушений присутствуют геологические свидетельства интенсивных геодинамических процессов. На это указывают наличие в толще четвертичных отложений отторженцев, гляциодислокаций, глубоких врезов, повышенная скорость вертикальных движений земной коры, проявление горизонтальных движений, размещение эпицентров землетрясений [4, 15]. Следы активизации ледниковой и речной эрозии и другие перечисленные признаки активизации геодинамических процессов прослеживаются на площади почти всех радоновых аномалий.

Особо следует подчеркнуть, что аномалии в зонах разломов имеют достаточно сложный ха-

рактер и, как правило, состоят из серии пиков, что, как отмечалось ранее при характеристике особенностей распределения концентрации микроэлементов [12], может быть увязано со строением этих зон, представляющих собой систему трещин, по которым происходят смещения горных пород разной амплитуды [9]. В таком случае линейные размеры участков, на которых выделены геохимические аномалии, могут быть использованы для примерных оценок ширины зон разрывных нарушений. По этим данным в районе проведенных исследований геодинамическая активность локальных разрывных нарушений проявляется в полосе шириной 1–3 км (до 4 км), Ляховичского регионального разлома с системой оперяющих локальных нарушений – около 12 км, Кореличского и Любешевского суперрегиональных разломов – около 7–10 км. Из этих параметров резко выпадает Минский суперрегиональный разлом, ширина зоны современной активности которого на исследуемом профиле оценивается всего 2 км. Очевидно, на изученном участке активность геодинамических процессов в настоящее время понижена, о чем свидетельствуют и небольшие параметры сформировавшейся радионовой аномалии. С другой стороны, повышенная активность современных движений в зонах некоторых локальных нарушений явно предопределила образование там высоких концентраций радона (в 3–4 раза выше фоновых) (аномалии 11, 14, 15).

Выводы. Проведенные исследования на смежных площадях Белорусской антеклизы и Припятского прогиба показали, что концентрация радона в почвенном воздухе на этой территории изменяется от 1–2 до 60–75 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$ при фоновых значениях около 10 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$.

Концентрации радона, превышающие фоновые в 2 и более раз, образуют 15 аномалий, которые имеют чаще всего сложное строение, обусловленное чередованием высоких и пониженных значений.

Сопоставление положения выделенных аномалий с особенностями геологического строения исследуемой территории указывают на то, что отсутствуют прямые зависимости повышенных концентраций радона от состава и глубины залегания пород фундамента. Не выявлены также тесные корреляции со своеобразием состава основной части платформенного чехла. Установлена только не всегда четко выраженная приуроченность аномалий к некоторым генетическим типам верхней части четвертичной толщи (покровным отложениям), содержащим повышенные количества глинистого и валунного материала.

Радоновые аномалии наиболее тесно связываются с положением разрывных нарушений, в зонах которых активные современные геодинамические процессы являются основным фактором, способствовавшим формированию повышенных концентраций этого газа.

Литература

1. Автушко, М. И. Концентрация радона в приповерхностных грунтах на территории Солигорского геодинамического полигона (Беларусь) / М. И. Автушко, А. В. Матвеев // Літасфера. 2010. № 2 (33). С. 98–105.
2. Автушко, М. И. Проявление линейных нарушений в концентрациях радона в покровных отложениях на территории Воложинского грабена / М. И. Автушко, А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко // Докл. Акад. наук Беларуси. 1996. Т. 40, № 6. С. 92–94.
3. Аксаментова, Н. В. Геологическая карта кристаллического фундамента Белоруссии и прилегающих территорий. М 1:1 000 000 / Н. В. Аксаментова, И. В. Найденков. Киев, 1992.
4. Аронов, А. Г. Сейсмическая активность разломов / А. Г. Аронов, Т. И. Аронова // Разломы земной коры Беларуси. Минск, 2007. С. 331–340.
5. Богдасаров, А. Радон: минусы и плюсы коварной невидимки / А. Богдасаров. Брест, 2008.
6. Вольфсон, Ф. И. Условия формирования урановых месторождений / Ф. И. Вольфсон, К. Г. Королев. М., 1990.
7. Геология Беларуси / отв. ред. А. С. Махнach, Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев. Минск, 2001.
8. Геоморфологическая карта Белорусской ССР. М 1:500 000 / гл. ред. Б. Н. Гурский. М. 1990.
9. Горелик, З. А. Современная история и структура тектонического развития Припятской впадины / З. А. Горелик [и др.]. Минск, 1968.
10. Калинин, М. Ю. Радонопроявления и здоровье населения / М. Ю. Калинин // Современные геологические процессы. Минск, 1998. С. 43–45.
11. Карта крышталічнага фундамента. М 1:2 000 000 // Нац. атлас Беларусі. Мінск, 2002.
12. Матвеев, А. В. О структуре геохимических аномалий в покровных отложениях в зонах разрывных нарушений / А. В. Матвеев // Літасфера. 2011. № 2 (35). С. 106–112.
13. Матвеев, А. В. Современные горизонтальные движения земной коры на территории Воложинского и Солигорского геодинамических полигонов (Беларусь) / А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. 2002. № 1 (16). С. 113–117.
14. Матвеев, А. В. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси / А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. 1996. № 5. С. 151–161.

15. Матвеев, А. В. Линеаменты территории Беларуси / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко. Минск, 2001.
16. Матвеев, А. В. Особенности современных вертикальных движений земной коры на территории Беларуси / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, Н. А. Шишонок // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 1998. Т. 42, № 2. С. 107–109.
17. Миаки, Я. Основы геохимии / Я. Миаки. Л., 1969.
18. Тафеев, Ю. П. Радиоактивность горных пород / Ю. П. Тафеев, А. Г. Андреев // Геологический словарь. М., 1973. Т. 2. С. 162–163.
19. Тэктанічна карта. М 1:1 250 000 // Нац. атлас Беларуси. Мінск, 2002. С. 46–47.
20. Чацвярцічныя адклады. М 1:1 250 000 // Нац. атлас Беларуси. Мінск, 2002. С. 42–43.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Геофизическая экспедиция РУП «Белгеология»**

Поступила в редакцию 28.03.2012

A. V. Matveev, L. A. Nechiporenko, V. V. Losich, A. P. Ivanenko

**КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ НА СМЕЖНЫХ ПЛОЩАДЯХ
БЕЛОРУССКОЙ АНТЕКЛИЗЫ И ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА (БЕЛАРУСЬ)**

Фоновые концентрации радона в почвенном воздухе на изученной территории составляют около 10 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$, а пределы колебаний варьируют от 1–2 до 60–75 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$. Выделено 15 участков с повышенными содержаниями этого газа, превышающими фоновые значения в 2 и более раз. Для установления причин формирования аномалий проведено их сопоставление с особенностями геологического строения кристаллического фундамента, платформенного чехла, толщи четвертичных отложений, зонами разрывных нарушений. Подобное сопоставление показало, что выделенные аномалии в основном не коррелируют с распространением определенных типов пород и глубинами их залегания. Установлено только, что наибольшие значения объемной активности радона (выше 40 тыс. $\text{Бк}/\text{м}^3$) тяготеют к площадям повышенных мощностей в верхней части четвертичной толщи моренных и краевых ледниковых отложений. Более однозначно выявлена приуроченность характеризуемых аномалий к зонам разрывных нарушений, что и позволило сделать вывод о ведущей роли активных геодинамических процессов в этих зонах в повышении концентрации радона в почвенном воздухе. Подчеркивается сложный характер радоновых аномалий, которые проявляются на графиках концентраций газа сериями пиков, что увязывается со строением зон разломов, представляющих собой систему плоскостей, по которым происходит смещение горных пород.

A. V. Matveev, L. A. Nechiporenko, V. V. Losich, A. P. Ivanenko

**CONCENTRATION OF RADON IN SOIL AIR ON THE ADJACENT AREAS OF THE
BELARUS ANTECLISE AND THE PRIPYATSKY SAG (BELARUS)**

Background concentration of radon in soil air in the studied territory makes about 10 thousand Bq/m^3 , and limits of fluctuations vary from 1–2 to 60–75 thousand Bq/m^3 . 15 sites with the raised content of this gas exceeding background values 2 and more times were marked. To establish the reasons of anomalies formation their comparison to features of a geological structure of the crystal base, a platform cover, thickness of quaternary deposits, zones of rupture disruption was done. Similar comparison has shown, that the singled out anomalies do not mainly correlate with distribution of certain types of rocks and depths of their bedding. It just has been established, that the greatest values of radon volume activity (above 40 thousand Bq/m^3) gravitate to the areas of enhanced capacities in the upper part of quaternary thicknesses of moraine and regional glacial deposits. More unequivocally was revealed the confinedness of the characterized anomalies to zones of rupture disruption, what has permitted to draw a conclusion on the leading role of active geodynamic processes in these zones in the increase of radon concentration in soil air. A complex character of radonic anomalies which are shown on schedules of concentration of gas by series of peaks that co-ordinates with a structure of zones of the breaks representing system of planes on which a shift of rocks occurs.

С. В. Какарека, Ю. Г. Ашурко

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Выполнен анализ и дана оценка источников выбросов формальдегида в атмосферный воздух Беларуси. Указаны основные процессы, приводящие к выделению формальдегида. Охарактеризована динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов. Проанализирована структура выбросов от стационарных источников. Выполнена оценка выбросов формальдегида от передвижных источников, стационарного сжигания топлива и отходов с использованием удельных показателей. Показано, что вклад передвижных источников в валовые выбросы формальдегида составляет более 86 %. Приведены предварительные расчеты поступления формальдегида вследствие его фотохимического образования в атмосфере.

Формальдегид относится к малым газовым примесям, однако он имеет важное значение в химии атмосферы и является одним из основных газовых компонентов-загрязнителей атмосферного воздуха городов. Он также рассматривается как приоритетное опасное соединение, которое внесено в перечень из 250 опасных веществ, разработанный Агентством по охране окружающей среды США.

В соответствии с нормативными документами, регламентирующими содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест Республики Беларусь, формальдегид классифицируется как токсичное и опасное вещество 2-го класса опасности. Его гигиенические нормативы в атмосферном воздухе составляют $30 \text{ мкг}/\text{м}^3$ (ПДК_{mp}) и $12 \text{ мкг}/\text{м}^3$ (ПДК_{cc}) [5].

При повышенных концентрациях формальдегид оказывает многообразное токсическое действие: раздражает слизистые оболочки верхних дыхательных путей, горла, глаз, вызывает тошноту и головную боль [14]. Помимо общетоксического действия данное соединение, возможно, является канцерогеном [18, 21].

В связи с этим оценка поступления формальдегида в окружающую среду – важнейшее

условие разработки стратегии сокращения загрязнения атмосферного воздуха в городах этим поллютантом. В то же время данные о выбросах формальдегида неполные.

Цель работы – анализ источников поступления формальдегида в атмосферный воздух на территории Беларуси и дополнение имеющихся оценок выбросов.

Согласно исследованиям [11, 20], содержание формальдегида в воздухе удаленных районов на сушке не превышает $2\text{--}4 \text{ мкг}/\text{м}^3$, в городском воздухе концентрации могут достигать $150 \text{ мкг}/\text{м}^3$, а в теплые солнечные дни – $400 \text{ мкг}/\text{м}^3$.

Значительное снижение формальдегида в атмосфере происходит в зимний период, а также после дождей [2].

По данным НСМОС среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов в период с 1991 по 2011 г. колебалось в пределах от $6,1$ до $9,6 \text{ мкг}/\text{м}^3$ с периодом в 5–10 лет. В последние годы (2009–2011 гг.) содержание формальдегида в атмосфере составляет около $8 \text{ мкг}/\text{м}^3$ (рис. 1).

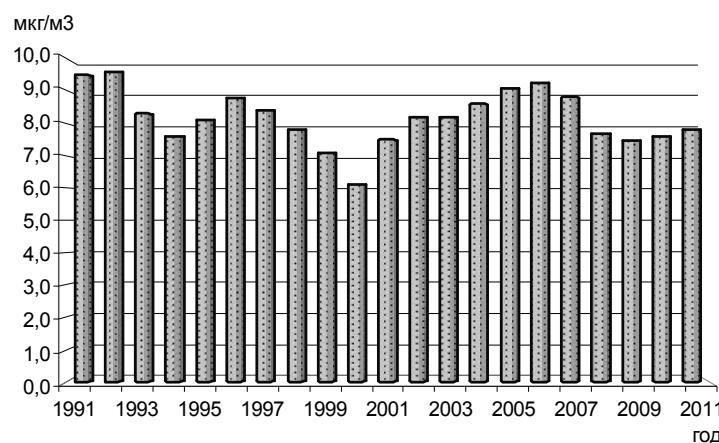


Рис. 1. Динамика среднего содержания формальдегида в городском воздухе в Беларуси

В 2010 г средняя концентрация формальдегида в атмосферном воздухе Беларуси составила 8 мкг/м³ при средних максимальных значениях 54 мкг/м³. Превышения максимально разовой ПДК по формальдегиду отмечены в 14 городах. Наибольшие средние концентрации формальдегида получены для Витебска (1,1 ПДК), Орши и Бреста (1,0 ПДК), Пинска (0,9 ПДК). Наименьшие средние значения получены в Новогрудке (0,1 ПДК) [10].

Источники выбросов формальдегида

Источники поступления формальдегида в атмосферу многообразны. Их можно разделить на группы [7]: промышленные и другие предприятия, использующие формальдегид в своей деятельности; стационарные сжигание топлива и отходов; передвижные источники; формальдегид-содержащие материалы; городские пожары, свалки бытовых и промышленных отходов; природные источники [11].

Промышленные предприятия, использующие формальдегид в своей деятельности. Выбросы формальдегида от различных производственных процессов в основном обусловлены его применением в данном процессе. Формальдегид используется при производстве древесной продукции (ДСП, ДВП, фанера); напольных покрытий; изоляционных материалов из карбамидоформальдегидного пенопласта; минеральной ваты или стекловаты; бумажной продукции; материалов для покрытий, красок, лаков; текстиля; продуктов для чистки и ухода; дезинфицирующих средств и консервантов; косметики.

Деревообрабатывающая промышленность является важнейшим промышленным источником выбросов формальдегида. Здесь формальдегид используется при производстве прессованных материалов (фанеры, ДСП, ДВП, ламината) в качестве компонента связующих смол (фенолоформальдегидных, карбамидоформальдегидных и др.). При изготовлении и дальнейшей эксплуатации древесных материалов на основе вышеупомянутых смол из них выделяется свободный формальдегид. Его количество зависит от технологии изготовления древесных композиционных материалов (породы древесины и содержания коры, типа связующего, количества отвердителя и формальдегидосвязывающих добавок, влажности осмоленных древесных частиц, режима прессования и др.) и от условий эксплуатации (влажности и температуры воздуха, воздушообмена) [1].

Более детальные сведения об особенностях поступления формальдегида в атмосферный воздух при производстве продукции деревообработки приведены ранее [6].

В металлургии формальдегид используется в качестве антикоррозийного вещества для металла, входит в связующие вещества в литейном производстве для изготовления стержней. Источниками загрязнений атмосферного воздуха

формальдегидом являются плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушила для форм, ковшей и стержней.

Изготовление стержней требует применения специальных стержневых смесей, в состав которых входят синтетические смолы. В литейных цехах наиболее массовыми связующими являются карбамидофурановые (КФ-40, КФ-90), фенолоформальдегидные (СФ-480, СФ-015) и фенолокарбамидофурановые (ФПР-24) смолы. При изготовлении форм и стержней с тепловой сушкой и в нагреваемой оснастке загрязнение воздушной среды токсичными компонентами возможно на всех стадиях технологического процесса: при изготовлении смесей, отверждении стержней и форм и охлаждении стержней после извлечения из оснастки. При литье под действием теплоты жидкого металла из формовочных смесей холодного твердения, содержащих фенолоформальдегидную смолу, выделяется формальдегид и другие токсичные вещества, количество которых зависит от состава формовочных смесей, массы и способа получения отливки и ряда других факторов. 80 % всех газовыделений приходится на первые 20 минут после заливки металла в формы. К концу первого часа газовыделения практически прекращаются [3].

Объемы выделений формальдегида зависят от процентного содержания этого вещества в жидким связующем, от состава связующего вещества (газовыделение отнесено к 1 дм² площади поверхности стержня, табл. 1).

Таблица 1. Выделение формальдегида при изготовлении стержней по виду связующего [12]

Связующее	При заполнении ящиков смесью, мг/(кг·ч)	При отверждении смеси, мг/(дм ² ·ч)
Фенолоформальдегидные	9,2	1,46
Карбамидоформальдегидные	215	37,8
Карбамидофурановые	41	5,7
На основе синтетических смол	61	10,3

Из табл. 1 видно, что наибольшие выделения происходят при использовании в качестве связующего карбамидоформальдегидных смол.

В табл. 2 приведены удельные содержания формальдегида при изготовлении стержней в нагреваемой оснастке с использованием связующего КФ-90 [12].

Таким образом, на примере использования карбамидофурановой смолы КФ-90 установлено, что наибольшее выделение формальдегида при изготовлении стержней в нагреваемой оснастке происходит во время процесса отверждения стержней.

Таблица 2. Удельное содержание формальдегида при изготовлении стержней в нагреваемой оснастке

Процесс	Удельное содержание формальдегида на 1 т отливок, кг
Смесеприготовление	0,00079
Хранение (транспортирование) смеси	0,0001
Отверждение стержней при температуре 200 °C	0,0687
Заливка и выбивка форм	—

В последнее время в мировой практике литьевого производства распространение получили экологически более чистые процессы получения отливок с применением песчано-смоляных форм и стержней, отверждаемых газообразными или жидкими катализаторами. На предприятиях Беларуси, России, Украины происходит постепенное перевооружение стержневых, формовочных и заливочных участков с переходом от «hot-box» на «cold-box» процессы с использованием менее токсичных связующих. Установлено, что выделение формальдегида как при изготовлении стержней, так и при заливке, охлаждении и выбивке при «холодных» процессах в 1,5–1,7 раз ниже, чем при «горячих» [3]. Тем не мене внедрение указанных технологий не решает проблемы их экологической безопасности.

В химической промышленности формальдегид используется при производстве синтетических смол, канифоли, термореактивной пластмассы, красящих веществ, консервирующих и коагулирующих каучуковых латексов в синтезе химических и фармацевтических продуктов, при изготовлении дезинфицирующих средств и дезодорантов, клея и удобрений, полученных из карбамидоформальдегидных концентратов [16, 21].

В сельском хозяйстве формальдегид используется в качестве фумиганта для профилактики плесени в пшенице, гнили в овсе. Пары формальдегида применяют в птицеводстве для дезинфекции инкубационных яиц и оборудования [4, 9].

В пищевой промышленности формальдегид используется для хранения сухих продуктов, рыбы и некоторых масел и жиров, дезинфекции контейнеров [13].

Формальдегид используется как антибактериальное вещество во многих косметических продуктах, включая мыло, шампуни, средства по уходу за волосами, дезодоранты, лосьоны, косметику, лаки для ногтей [21]. Водные растворы формальдегида применяются при дублении и консервации биологических материалов [16].

Стационарное сжигание топлива и отходов. Формальдегид образуется посред-

ством фотохимического окисления углеводородов или других предшественников, высвобождающихся в процессе горения как промежуточный продукт. С увеличением температуры горения реакционной смеси выбросы формальдегида увеличиваются [8].

Передвижные источники. Источником выбросов формальдегида от автотранспорта являются автомобильные выхлопные газы [8, 16]. Содержание формальдегида в выхлопных газах повышено по сравнению со стационарными топливосжигающими установками. Это объясняется тем, что в отличие от стационарных систем сжигания топлива, в двигателях внутреннего сгорания продолжительность горения ограничена долями секунды, а холодные стенки камеры препятствуют полному сгоранию топлива, что приводит к выбросу продуктов неполного сгорания.

Формальдегидсодержащие материалы. Формальдегид также поступает в атмосферный воздух из содержащих его материалов, таких как древесно-стружечные плиты, строительные и отделочные материалы, ковровые и текстильные изделия и т. д. В воздушной среде помещения, насыщенного полимерными материалами, формальдегидная нагрузка на человека может превышать его предельно допустимую концентрацию в несколько раз [21].

Формальдегид поступает в атмосферу не только от антропогенных и природных источников, но и образуется в процессе фотоокисления многих классов органических соединений (вторичное образование).

Образование формальдегида в реакционной смеси при условиях, приближенных к атмосферным, зарегистрировано в процессе фотохимического окисления метана, этана, изопентана, этилена, пропилена, изопрена, толуола, метанола, диметилсульфида и некоторых других веществ [2].

Учитывая короткое время нахождения формальдегида в атмосфере, это соединение имеет ограниченный потенциал переноса на большие расстояния. Однако в тех случаях, когда органические прекурсоры формальдегида переносятся на большие расстояния, вторичное образование формальдегида может произойти далеко от фактических антропогенных источников [13, 23].

Выбросы формальдегида на территории Беларуси по данным статистической отчетности

Согласно данным статистики, валовые выбросы формальдегида в Беларуси в 1990 г. составляли 188,9 т. Далее началось снижение выбросов, и к 1997 г. показатели выбросов формальдегида сократились более чем вдвое (рис. 2). Затем начался плавный рост выбросов; в последние годы (2007–2010 гг.) уровня

выбросов формальдегида составляют около 130 т/год.

Наибольшие выбросы приходятся на Минск (14,9 т), Борисов (12,8 т) и Гомель (рис. 3).

Согласно статистическим данным, в 2010 г. выбросы формальдегида в атмосферный воздух

в Беларуси от промышленности составили 86 т (68 % валовых выбросов формальдегида), от сельского хозяйства – 39 т (31 %), причем около 60 % приходится на птицеводство, от других отраслей народного хозяйства – 2,29 т (1 %).

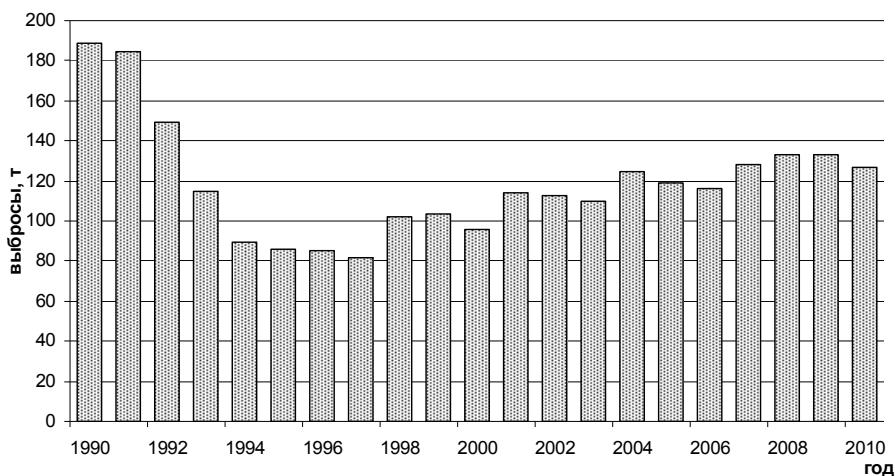


Рис. 2. Динамика валовых выбросов формальдегида на территории Беларуси за период 1990–2010 гг. (по данным статистики)

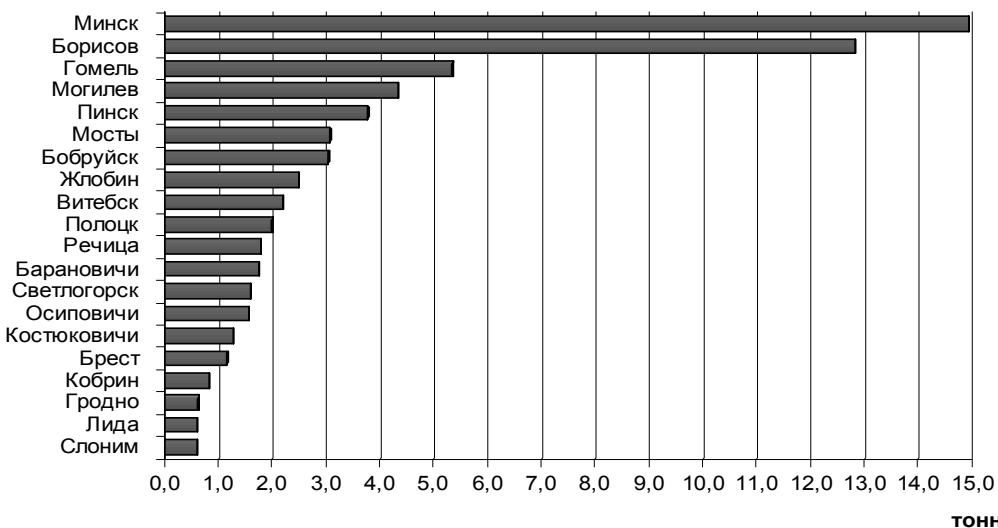


Рис. 3. Выбросы формальдегида по городам от стационарных источников (2010 г.)

Выбросы формальдегида от различных производственных процессов в основном связаны с его использованием в данном процессе. Доля лесной деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности составляет 38 % промышленных выбросов формальдегида, машиностроения и металлообработки – 20,6, пищевой промышленности – 12,9 (из них 99 % приходится на мясную и молочную промышленность), химической и нефтехимической – 8,8 %.

Данные статистической отчетности наиболее полно учитывают выбросы формальдегида от крупных промышленных и сельскохозяйствен-

ных источников. Однако выбросы от передвижных источников, а также оценки выбросов площадных и природных источников отсутствуют.

Оценка выбросов формальдегида для источников, не учитываемых статистикой

В качестве источников выбросов формальдегида для оценки предварительно определены следующие категории: передвижные источники, стационарное сжигание топлива, сжигание отходов [7]. Оценка выбросов формальдегида проводилась по состоянию на 2010 г.

В качестве исходной информации для расчета выбросов использовались производ-

ственно-статистические данные об интенсивности видов деятельности: сжигании топлива, потреблении сырья, производстве продукции и т. д.

Удельные показатели выбросов получены из международных и национальных руководств [14, 15, 17], а также литературных источников [22].

Необходимо отметить, что информация по удельным показателям выбросов формальдегида весьма разрознена, обычно имеется большой диапазон значений; многие категории источников мало изучены. Это вносит существенную неопределенность в оценки выбросов.

Сжигание топлива и отходов. Для оценки использовались удельные показатели выбросов от стационарного сжигания топлива (включающего объекты энергетики, топливо-сжижающие установки промышленного, жилищно-коммунального и бытового секторов), приведены в табл. 3 [14, 17, 19]. Наиболее высокий удельный выброс формальдегида характерен для сжигания дизельного топлива и мазута.

Для оценки выбросов формальдегида от сжигания отходов использован удельный показатель выбросов из [22], равный 0,35 кг/т отходов. Для оценки объемов сожженных отходов использовались производственно-статистические данные.

Таблица 3. Удельные показатели выбросов формальдегида при стационарном сжигании топлива

Вид топлива	Удельный показатель выбросов	Единица измерения
Уголь	0,6	г/ГДж
Дрова	2,0	г/м ³
Мазут	7,6	г/ГДж
Дизельное топливо	12,0	г/ГДж
Природный газ	1,2	кг/млн м ³

Передвижные источники. Оценка выбросов формальдегида от передвижных источников проводилась в два этапа. На первом этапе с использованием удельных показателей выбросов из модели GAINS Международного института прикладного системного анализа были рассчитаны выбросы ЛОС; на втором этапе, используя распределение ЛОС по соединениям из Руководства по инвентаризации ЕМЕП/КОРИНЭЙР, получены оценки выбросов формальдегида (табл. 4).

Суммарные оценки выбросов формальдегида включают выбросы, полученные расчетным путем для стационарного сжигания топлива, обработки и удаления отходов и передвижных источников, а также статистические данные о выбросах формальдегида от процес-

сов, связанных с использованием формальдегида и от сельского хозяйства.

Итоговые значения выбросов формальдегида в 2010 г. приведены в табл. 5.

Таблица 4. Удельные показатели выбросов ЛОС и формальдегида от передвижных источников [15, 24]

Вид топлива	Удельные показатели выбросов	
	ЛОС, кг/ГДж	Формальдегид, % от ЛОС
Бензин автомобильный	0,80	2,08
Дизельное топливо	0,19	7,30

Таблица 5. Выбросы формальдегида по категориям источников в Беларуси в 2010 г.

Категория источника	Выбросы формальдегида, т
Стационарное сжигание топлива	282,2
Сжигание отходов	38,7
Промышленность	85,9
Сельское хозяйство	68,7
Передвижные источники	3043,9
Итого	3519,4

Согласно полученным результатам в 2010 г. валовые выбросы формальдегида в атмосферный воздух Беларуси составили 3519,4 т. Основным антропогенным источником выбросов формальдегида являются передвижные источники (дорожный транспорт) (86,5 %). Среди передвижных источников наибольший вклад в выбросы формальдегида вносят автомобили с бензиновыми двигателями (90,2 %) (рис. 4).

От стационарного сжигания топлива в атмосферный воздух поступило 8 % выбросов формальдегида (282,2 т). Здесь максимальный вклад в выбросы формальдегида вносит сжигание мазута (77,6 %); на сжигание дизельного топлива и природного газа приходится 10,2 и 9,8 % соответственно. Уровни выбросов формальдегида от стационарного сжигания топлива приведены на рис. 5.

От промышленных процессов в атмосферу поступило 2 % выбросов формальдегида (85,9 т). Наибольший вклад вносит деревообрабатывающая промышленность и металлургия (38 и 20,6 % соответственно).

Структура выбросов формальдегида в Беларуси близка к структуре выбросов в других странах.

Полученные суммарные оценки валовых выбросов формальдегида на территории Беларуси превышают статистические данные более чем в 20 раз.

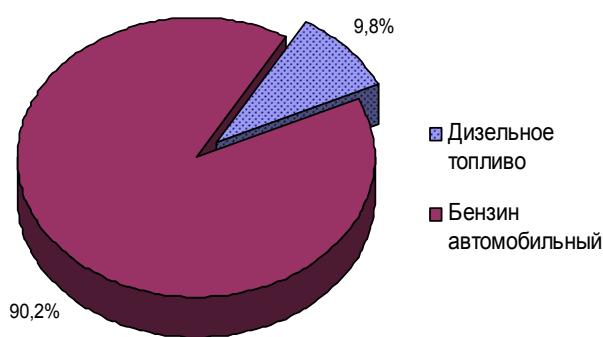


Рис. 4. Структура выбросов формальдегида от передвижных источников (2010 г.)

Пока не оценены выбросы формальдегида от природных источников.

Как указано выше, значительный вклад в поступление формальдегида в атмосферный воздух вносит образование формальдегида в результате фотохимического окисления углеводородов, однако методология инвентаризации таких источников пока не разработана в должной мере. Выполняются в основном ориентировочные расчеты объемов такого образования формальдегида.

Выполнена предварительная оценка фотохимического образования формальдегида исходя из объемов выбросов углеводородов с использованием коэффициентов трансформации. Объемы выбросов углеводородов от стационарных источников оценены на основании статистических данных, от передвижных – с использованием удельных показателей выбросов по модели GAINS. Согласно полученным оценкам, в атмосферу Беларуси выбрасывается ежегодно около 97,8 тыс. т углеводородов. Конверсионный фактор для формальдегида принят равным 0,075 [18, 23]. Исходя из этого, фотохимическое образование формальдегида составит порядка 7335,6 т в год, что вдвое превышает выбросы от первичных источников. Однако эта оценка является

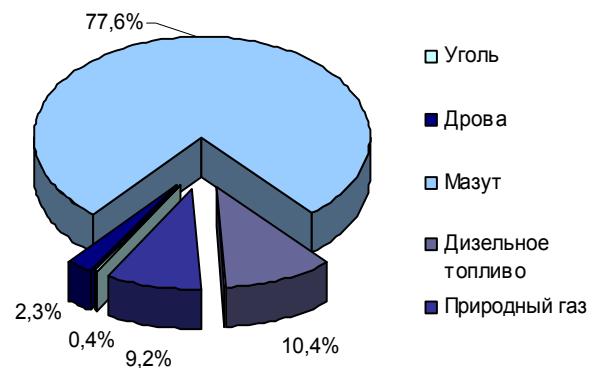


Рис. 5. Структура выбросов формальдегида от стационарного сжигания топлива (2010 г.)

ориентировочной и должна быть подтверждена оценками, выполненными по другим методикам.

Заключение

Выполненное исследование показало, что среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов помимо сезонной имеет и многолетнюю цикличность.

В настоящее время наиболее полно учитываются выбросы формальдегида от промышленных и сельскохозяйственных источников. Существенно меньше известно о выбросах от передвижных источников.

Выполнен расчет выбросов формальдегида от передвижных источников, стационарного сжигания топлива и отходов на основе удельных показателей выбросов. В 2010 г. валовые выбросы данного соединения составили более 3,5 тыс. т. При этом 86,5 % приходится на долю передвижных источников.

Оценен вклад фотохимического образования формальдегида из углеводородов в атмосфере; показано, что он может существенно превышать выбросы от стационарных и передвижных источников.

Полученные оценки поступления формальдегида в окружающую среду могут быть использованы при разработке стратегии сокращения загрязнения атмосферного воздуха в городах.

Литература

1. Анохин, А. Е. Снижение токсичности мебели / А. Е. Анохин. М., 2002.
2. Безуглая, Э. Ю. Исследование химических процессов в атмосфере по данным мониторинга в городах / Э. Ю. Безуглая, И. А. Воробьев, М. В. Полуэктова // Тр. ГГО им. А. И. Войкова. 2009. Вып. 561. С. 164–184.
3. Болдин, А. Н. Проектирование литейных цехов. Машины литейного производства / А. Н. Болдин, Е. А. Резчиков, А. Н. Граблев. М., 2010.
4. Ветеринарно-санитарные правила по проведению ветеринарной дезинфекции. Введ. : М-во сельского хоз-ва и продовольствия РБ. Минск, 2007.

5. **Нормативы** предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно-безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения. Введ. : М-во здравоохранения РБ. Минск, 2010.
6. **Какарека, С. В.** Особенности поступления формальдегида в атмосферный воздух при изготовлении и использовании продукции деревообработки / С. В. Какарека, Ю. Г. Ашурко // Природопользование. 2011. Вып. 19. Минск, 2011. С. 31-36.
7. **Какарека, С. В., Мальчихина, А. В.** Оценка источников и уровней поступления формальдегида в атмосферный воздух (на примере г. Гомеля) / С. В. Какарека, А. В. Мальчихина // Природные ресурсы. 2011. № 1. С. 07–115.
8. **Ксандопуло, Г. И.** Химия пламени / Г. И. Ксандопуло. М., 1980.
9. **Мурашова, Е. А.** Монклавит-1 – замена формальдегида / Е. А. Мурашова, А. И. Спиридонова // Птицеводство. 2010. № 1. С. 28–31.
10. **Состояние** природной среды Беларусь : эколог. бюл. 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2011.
11. **Скубневская, Г. И.** Загрязнение атмосферы формальдегидом : аналит. обзор / Г. И. Скубневская ; Ин-т хим. кинетики и горения СО РАН. Новосибирск, 1994.
12. **Расчет** выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при горячей обработке металлов РД 0212.3-2002. Введ. : Минприроды РБ. Минск, 2002.
13. **ATSDR.** 1999. Toxicological Profile for Formaldehyde (Final Report). NTIS Accession №. PB99-166654. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
14. **AP-42.** Compilation of Air Pollutants Emission Factors. Vol. 1: Stationary Point and Area Sources. 5th Edition. (GPO 055-000-00500-1). USEPA. Research Triangle Park, NC, 1995.
15. **Atmospheric** Emission Inventory Guidebook. A Joint EMEP/EEA Production / EMEP Task Force on Emission Inventories and Projections. 5th edition. EEA, Copenhagen, 2007.
16. **Environmental** Health Criteria 89. Formaldehyde. Geneva. WHO, 1989.
17. **Factor** Information Retrieval (FIRE) System. Version 5.1, 1995.
18. **Final Report on the Identification of Formaldehyde as a Toxic Air Contaminant** / Prepared by the Staffs of the Air Resources Board and the Office of Environmental Health Hazard Assessment July 1992.
19. **Fuel-Cycle** Emissions for Conventional and Alternative Fuel Vehicles: An Assessment of Air Toxics. US Department of Energy, 2000.
20. **Grosjean, D.** Formaldehyde and other Carbonols in Los Angeles Ambient Air / D. Grosjean // Environmental Science and Technology. 1982. Vol. 16. P. 254–264.
21. **International** Agency for Research on Cancer (IARC) Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 62. Wood Dust and Formaldehyde. WHO, Lyon, France. 1995.
22. **Investigation** of Selected Potential Environmental Contaminants: Formaldehyde. / J. F. Kitchens [et al.]. Washington, DC, US Environmental Protection Agency. 1976.
23. **Locating** and Estimating Air Emissions from Sources of Formaldehyde (revised). EPA-450/4-91-012. 1991.
24. **RAINS** User Guide. IIASA, Laxenberg, Austria, 2004.

Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 24.04.2012

C. В. Какарека, Ю. Г. Ашурко

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Выполнен анализ и дана оценка источников выбросов формальдегида в атмосферный воздух Беларусь. Проанализирована динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов. Охарактеризована структура выбросов от стационарных источников. Указаны основные процессы, приводящие к выделению формальдегида. Выполнена оценка выбросов формальдегида от передвижных источников, стационарного сжигания топлива, сжигания отходов.

Выполненное исследование показало, что среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов помимо сезонной имеет и многолетнюю цикличность.

В настоящее время наиболее полно учитываются выбросы формальдегида от промышленных и сельскохозяйственных источников. Практически не учитываются выбросы от передвижных источников, стационарное сжигание топлива и отходов.

Выполненный расчет выбросов формальдегида от источников, до последнего времени не оцениваемых статистикой, показал, что в 2010 г. валовые выбросы данного соединения составили более 3,5 тыс. т. При этом более 86 % приходится на долю передвижных источников.

Выполнена предварительная оценка фотохимического образования формальдегида из углеводородов в атмосфере. Показано, что оно может существенно превышать выбросы от стационарных и передвижных источников.

Полученные оценки поступления формальдегида в окружающую среду могут быть использованы при разработке стратегии сокращения загрязнения атмосферного воздуха в городах.

S. Kakareka, Y. Ashurko

**ANALYSIS AND EVALUATION OF FORMALDEHYDE EMISSION SOURCE
IN THE ATMOSPHERIC AIR IN BELARUS**

The article is devoted to analysis and evaluation of emission sources of formaldehyde in the atmospheric air of Belarus. The dynamics of formaldehyde in ambient air of cities is analyzed. The structure of emissions from stationary sources is described. The main processes leading to the release of formaldehyde are shown. The estimation of formaldehyde emissions from mobile sources, stationary fuel combustion, waste incineration is performed.

Our study showed that the average concentrations of formaldehyde in ambient air of cities in addition to the seasonal cycle has a long-term cycle.

Formaldehyde emissions from industrial and agricultural sources are the most fully accounted. The emissions from mobile sources, stationary combustion and waste are almost not accounted..

The calculations of formaldehyde emissions from the sources, which statistics until has not estimated, showed that in 2010 total emissions of this compound was more than 3,5 thousand tons, and mobile sources arranged over 86 %.

The preliminary assessment of the photochemical formation of formaldehyde from the hydrocarbons in the atmosphere is performed. It is shown that it can substantially exceed the emissions from stationary and mobile sources.

The result of estimation of formaldehyde emission in the environment can be used to develop strategies to reduce air pollution in cities.

УДК 504.3.313:33

О. Ю. Круковская, С. В. Какарека

ПОДХОДЫ К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКСИДОВ АЗОТА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Выполнен анализ подходов к количественной оценке воздействия оксидов азота на здоровье, рассмотрены механизмы токсического воздействия по результатам клинических и эпидемиологических исследований. Проанализированы подходы к определению и выполнена предварительная количественная оценка ущерба от выбросов оксидов азота для населения Беларусь.

Оксиды азота (NO_x) представлены в атмосферном воздухе рядом соединений азота и кислорода, наиболее устойчивыми из которых являются (моно)оксид азота (NO) и диоксид азота (NO_2) и их димеры. Данные соединения относятся к основным загрязняющим веществам. Наиболее выраженным токсическим действием обладает диоксид азота. Опасность диоксида азота обусловлена его физическими и химическими свойствами: диоксид азота тяжелее воздуха, характеризуется высокой реакционной способностью, является сильным окислителем и реагирует с водой с образованием азотной кислоты. Высокая токсичность оксида азота обусловлена наличием в его структуре неспаренного электрона. Диоксид азота поступает в организм преимущественно респираторным путем и характеризуется меньшей растворимостью, чем диоксид серы, что приводит к большей доле молекул, проникающих вглубь легких. Около 70–90 % вдыхаемого диоксида азота способно абсорбироваться в респираторной системе [4].

Исследования в области воздействия загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье населения осуществляются на двух уровнях: первом, обобщенном экологово-ориентированном эпидемиологическом, и втором, медико-ориентированном клиническом.

Токсикологические исследования механизмов воздействия оксидов азота на здоровье

Загрязнение воздуха городов считается серьезной проблемой для окружающей среды [6, 20]. Эпидемиологические данные подтверждают связь между загрязнением воздуха и ростом заболеваний сердечно-сосудистой системы и смертности [5]. Однако биологические механизмы, лежащие в основе этих ассоциаций, остаются недостаточно ясными. В обзоре ВОЗ [20] показано, что негативный эффект для здоровья человека возникает даже при низких концентрациях диоксида азота. Воздействие высоких уровней диоксида азота может иметь даже такие последствия, как отек легких [10].

Согласно наиболее подтвержденной гипотезе механизма воздействия, загрязнение возду-

ха оксидами азота вызывает воспаление легких, которое связано с выработкой медиаторов местного воспаления [39]. Связь между загрязнением воздуха и системным воспалением показана в исследованиях, демонстрирующих корреляцию между воспалительными биомаркерами и количеством свободных атмосферных частиц и летучих газов [8]. Воздействие загрязненного продуктами горения воздуха связано также с ранним (1–2 ч) и устойчивым (24 ч) ростом сердечно-сосудистых заболеваний и смертности [16]. Воздействие диоксида азота на здоровье вызвано как прямым воздействием вещества, так и увеличением восприимчивости организма, в первую очередь дыхательных путей к другим вызовам, в том числе респираторным вирусным инфекциям. Кроме того, воздействие NO_2 приводит к сокращению активности макрофагов [17]. Наличие сопутствующих заболеваний также увеличивает восприимчивость представителей некоторых возрастных групп к воздействию NO_2 .

Оксиды азота характеризуются низким собственным канцерогенным риском, но усиливают действие других канцерогенных веществ.

По данным Центра по контролю заболеваний США, порог мгновенной опасности для жизни и здоровья для диоксида азота установлен на уровне 20 ppm (27,6 mg/m³). Первоначальный (базовый) уровень порога составлял 69 mg/m³ и был установлен на основании сообщения о том, что концентрации свыше 50 ppm (69 mg/m³) опасны для человека в краткосрочном периоде [14].

Эпидемиологические исследования воздействия оксидов азота на здоровье

В ходе эпидемиологических экологово-ориентированных исследований изучается корреляция уровня содержания исследуемого загрязняющего вещества в атмосферном воздухе и уровня заболеваемости населения.

Необходимо отметить, что оксиды азота, хотя и являются приоритетными загрязняющими веществами, но редко оцениваются как причина сокращения продолжительности жизни и увеличения смертности. Приоритетность изучения снижается в ряду факторов воздействия «общее

загрязнение воздуха – взвешенные частицы – озон – диоксид серы» [20].

В эпидемиологических исследованиях устанавливают корреляцию заболеваний как с повышенным содержанием оксидов азота в атмосферном воздухе, так и с интенсивностью источников выбросов, преимущественно передвижных. На уровень заболеваемости, выявленный в таких исследованиях, могут влиять другие вещества и параметры (например, шум) и их совместное действие. В исследованиях воздействия передвижных источников рассматриваются эффекты, связанные с частым нахождением (проживание, обучение) людей на расстоянии до 400 м, изредка – до 1000 м до транспортных магистралей [5, 17].

Связь респираторных заболеваний и симптомов с содержанием NO_x в атмосферном воздухе являются наиболее статистически достоверной, особенно для детей. В исследованиях, проведенных в Хельсинки (Финляндия), была подтверждена гипотеза о том, что воздействие низких уровней двуокиси азота повышает риск развития респираторных заболеваний у детей дошкольного возраста. Кроме того, было показано, что степень воздействия коррелирует в большей степени с индивидуальным воздействием, чем с осредненными в среднесрочном (от суток до недели) периоде значениями концентраций оксидов азота. В исследованиях, проведенных в 2008–2011 гг. в зарубежных странах (США, Швеция) показано, что повышенные концентрации загрязняющих веществ, включая оксиды азота, на первом году жизни и в утробе матери увеличивает риск развития астмы и аллергических реакций [18].

В исследованиях устанавливается связь между респираторными заболеваниями и условиями среды с учетом такого параметра, как близость транспортных магистралей к жилью. При проживании в 50 м от дороги с интенсивностью движения свыше 30 000 машин в день риск развития астмы увеличен в 1,79 раз [5]. Повышенный риск отмечен и для детей, проживающих в пределах 75 м от дорог. Кроме того установлено, что для детей, проживающих ближе 150 м от дороги, риск одышки выше. При увеличении содержания NO₂ в воздухе на 10 мкг/м³ возрастает количество обращений с болезнями органов дыхания на 2,6 %, обращений с астмой – на 2,9 %, через 3 и 7 дней – на 3,7 % и 5,8 % соответственно [19].

На основании анализа недельной динамики выявлено, что наибольшие концентрации NO_x наблюдаются во вторник и пятницу, а в выходные дни загрязненность воздуха существенно сокращается. В недельном цикле заболеваемости кардиологическими и респираторными заболеваниями наблюдается спад в течение недели, в то время как смертность от рассматриваемых заболеваний устойчива в течение недели [17].

Снижение функции легких также отмечается в отдельных исследованиях населения, подвергшегося повышенным воздействиям оксидов азота [19], хотя существуют случаи, когда не устанавливается корреляция между концентрациями NO_x или интенсивностью движения и функцией легких [6].

Кардиологические эффекты также относят к вероятным следствиям воздействия NO_x. Для проживающих вблизи дороги (до 100 м) отмечен повышенный риск сердечно-легочной смертности, острых инфарктов миокарда [5]. В исследовании [6] оценена корреляция между уровнем загрязнения воздуха, метеопараметрами и респираторными и сердечнососудистыми заболеваниями в Риме в 2005 и 2006 гг. Установлено, что частота сердечно-сосудистых заболеваний в большей степени коррелирует (0,34) с содержанием в воздухе диоксида азота, чем с содержанием тонкодисперсных взвешенных частиц и приземного озона.

В отдельных исследованиях устанавливается связь между оксидами азота и **аллергическим заболеванием**, включая повышенную чувствительность к пищевым аллергенам [8].

Повышенное содержание оксидов азота иногда рассматривается в качестве причины развития **онкологических заболеваний**. В исследованиях в 10 европейских странах показано, что при высокой интенсивности движения транспорта и высоких концентрациях NO₂ вероятность раковых заболеваний возрастает в 1,46 раза. Связь между раком легких и воздействием NO₂ является слабой, но статистически достоверной [5]. Кроме того выявлено, что между сильным воздействием NO₂ и диагностикой рака легких существует продолжительный (20 лет) латентный период. Установление связей между загрязнением воздуха и онкологическим заболеванием затруднено вследствие большого количества более распространенных причин.

Как показано ранее, основным механизмом развития негативных эффектов NO_x является возникновение и распространение воспалительных реакций. На воспалительные реакции влияют такие параметры, как возраст, пол, индекс массы тела и окружности талии, уровень физических нагрузок, потребление алкоголя, курение, а также прием лекарств с потенциальным про- и противовоспалительным действием и др. Существуют также сообщения о повышенной чувствительности к действию загрязнения воздуха в определенных подгруппах населения, включая женщин, пожилых людей, больных астмой, лиц с историей сердечно-сосудистых заболеваний и др. [17]. Помимо состояния здоровья человека, подвергающегося воздействию NO_x, существует множество возможных влияющих внешних факторов, в основном метеорологические параметры – температура, влажность, скорость ветра,

осадки [9]. Кроме того, есть сезонные факторы, которые тесно связаны с сердечно-сосудистой заболеваемостью и смертностью, а также загрязнением воздуха. Установлено, что воздействие оксидов азота усиливается при пониженном давлении и повышении температуры воздуха.

Несмотря на широкий круг проведенных исследований и выявленных эффектов, зависимость «доза–эффект» для диоксида азота была получена в эпидемиологических исследованиях только для следующих эффектов: увеличение частоты случаев появления симптомов со стороны верхних дыхательных путей у детей, увеличение продолжительности периодов обострения заболеваний верхних дыхательных путей у детей и увеличение частоты заболеваний нижних дыхательных путей у детей [2].

Подходы к оценке ущерба от воздействия оксидов азота

В центре системного подхода к изучению загрязнения воздуха находится триада «источник воздействия–среда–объект воздействия». Каждый из элементов триады и их взаимосвязь могут быть охарактеризованы с качественной и количественной точки зрения. Рассматриваемое в рамках данной статьи взаимодействие «среда–человек» с качественной точки зрения характеризуется перечнем негативных последствий, возникающих при экспозиции повышенных концентраций оксидов азота. Количественной мерой связи качества атмосферного воздуха и здоровья является ущерб.

Определение количественных зависимостей в системе «среда – здоровье» как первоочередная задача гигиены окружающей среды была впервые поставлена Г. И. Сидоренко и получила развитие в разработке критериев и методов количественной оценки воздействия факторов окружающей среды. В середине 1980-х годов в США для оценки воздействия загрязняющих веществ на здоровье началось использовать понятие «риск».

Риск – это вероятность или правдоподобие развития вредного эффекта при конкретном воздействии конкретного фактора на конкретную популяцию. Термин «правдоподобие» отражает то обстоятельство, что риск может быть выражен не только количественно в масштабе от 1 до 0, но и полукачественно или даже качественно. О возникновении риска правомерно говорить, если, во-первых, установлена научно аргументированная связь между развитием нарушения состояния здоровья и анализируемым фактором, а во-вторых, если имеется воздействие данного фактора на чувствительный к нему организм [2]. Методология оценки риска широко используется в настоящее время и рекомендована Всемирной организацией здравоохранения. Общепринятая методология оценки риска включает 4 этапа: идентификация опасности; оценка экспозиции;

установление зависимости «доза–ответ»; характеристика.

С концептуальной точки зрения понятие «риск» в связи с загрязнением атмосферы носит вероятностный характер и отражает только медицинскую сторону вопроса, в то время как для реализации экологической политики требуется рассмотрение и экономической составляющей. Мерой оценки негативного воздействия служит понятие «ущерба», подразумевающего «величину причиненного вреда».

В зависимости от объекта, который подвергается негативному воздействию, различают три основные категории риска и ущерба: экономический, социальный и экологический.

Самые ранние исследования ущерба здоровью от загрязнения воздуха были выполнены в США с использованием метода материальных потоков [12]. Такой подход был также использован в Нидерландах и в Швеции [13]. Однако метод материальных потоков не пригоден для экономической оценки, поскольку он не содержит количественных показателей.

Наиболее широкомасштабные оценки ущерба от выбросов загрязняющих веществ получены для ВЧ и SO₂, тогда как воздействие оксидов азота оценивается значительно реже [11]. Исследования в области экономической оценки воздействия оксидов азота на здоровье не являются завершенными. Например, в рамках определения ущерба от загрязнения воздуха исследован рост расходов, связанных с первичной заболеваемостью астмой; общая сумма затрат, связанных с загрязнением воздуха, в районах Лонг Бич и Риверсайд (штат Калифорния), составила 18 млн долл. США в год, почти половина из которых происходит из-за новых случаев астмы, вызванной загрязнением. Один случай бронхиальной астмы обходится в среднем в 915–972 долл. США. Годовые затраты на лечение астмы составляют 3800–4000 долл. США, что соответствует 7% среднего дохода семьи в исследуемом районе и выше социально приемлемого 5 %-го уровня расходов на здравоохранение. Вместе с тем результирующая величина ущерба не оценена.

Системные исследования по оценке ущерба от выбросов оксидов азота были выполнены в США [33] и ЕС в рамках Программы CAFÉ (Clean Air for Europe), а также были реализованы в модели GAINS.

Использование методологии Программы CAFÉ и модели GAINS для оценки ущерба от воздействия оксидов азота на здоровье населения Беларуси

Ущерб от повышенного содержания оксидов азота в атмосферном воздухе, согласно методологии оценки, использованной в рамках анализа «затраты–выгоды» Программы CAFÉ, определяется на основании косвенного воздействия [7].

Численные значения воздействия определены и проверены для детской смертности, острых и хронических заболеваний, связанные с воздействием первичных и вторичных аэрозолей.

При расчете ущерба учитываются следующие эффекты:

- смертность всех групп населения от повышенной заболеваемости бронхитами;
- острое воздействие на дыхательную и кровеносную системы;
- общее ухудшение состояния здоровья;
- сокращение урожайности сельскохозяйственных культур.

При этом, как показано в [11], ущерб здоровью составляет около 96 % общего ущерба, т. е. при анализе полученных с использованием данной методики величин ущерба сокращением урожайности можно пренебречь.

В общем виде оценка воздействия и ущерба представлены уравнениями:

$$D = I \times V_i,$$

$$I = P \times R \times f,$$

где D – общий экономический ущерб; I – воздействие; V_i – единичный ущерб (ущерб единицы воз-

действия); P – загрязнение; R – риск; f – функция отклика и «доза-эффект».

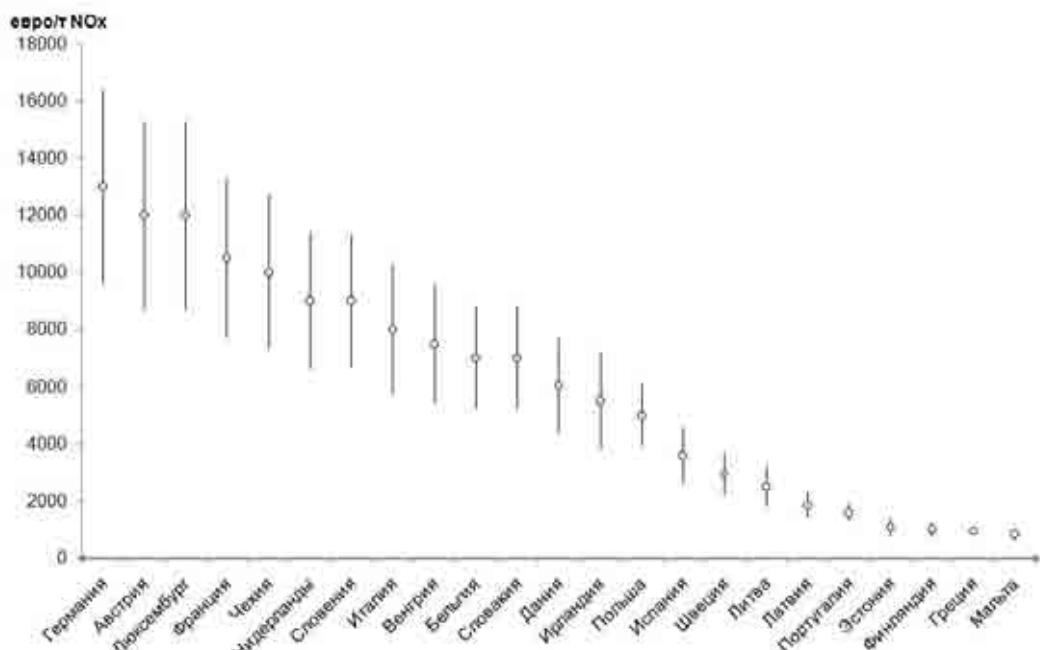
Единичный ущерб определяется на основании оценки стоимости жизни и оценок стоимостных показателей воздействия, таких как медицинское обслуживание, первичная диагностика, снижение дневной активности, использование соответствующих медицинских препаратов и др. Значения параметров, которые положены в основу расчета ущерба от смертности и повышенной заболеваемости, представлены в таблице.

Ввиду отсутствия отечественных данных об экономической оценке стоимости жизни для расчета ущерба может быть принято оценочное значение для России [3], составляющее 3,47 млн российских рублей или около 90 тыс. евро, что значительно меньше значений, полученных в странах Европы.

Средний ущерб, рассчитанный для различных оценок эквивалентов стоимости жизни в Европе, суммарно для всех учтенных эффектов воздействия NOx составил от 4,4 до 12,0 тыс. евро/т выбросов. Удельный ущерб характеризуются высокой вариабельностью в зависимости от страны: наибольший ущерб в Германии (до 25 тыс. евро/т NOx), наименьший – в Греции (около 1 тыс. евро/т NOx) (рисунок).

Экономические эквиваленты стоимости жизни [3, 7]

Показатель	Страны Европы		Россия
	Медианное значение	Среднее значение	
Детская смертность, евро/случай	1500000	4000000	–
Статистическая стоимость жизни, евро	98000	2000000	90000
Стоимость года жизни, евро/год	52000	120000	5250



Удельный ущерб от выбросов оксидов азота в странах ЕС, евро/т NOx

Принимая равными функции отклика, предварительные оценки ущерба от выбросов оксидов азота в Беларуси составят 440–1050 евро/т NO_x. С учетом валовых выбросов оксидов азота на уровне 170 тыс. т суммарный ущерб, оцененный по методологии CAFÉ, для Беларуси составит 75–180 млн евро.

Для оценки ущерба от загрязнения воздуха оксидами азота в Беларуси может быть использована модель GAINS (Greenhouse Gas – Air Pollution INteractions and Synergies), разработанная в Международном институте прикладного системного анализа в 1984 г. (первоначальное название – RAINS) как инструмент интегральной оценки альтернативных стратегий сокращения кислотных выпадений (SO₂) в Европе и Азии. Модель GAINS позволяет оценить уровни выбросов широкого перечня загрязняющих веществ, включая NO_x, а также сопряженные с ними затраты и эффекты для человека и экосистем.

Экономическая оценка реализации различных стратегий контроля выбросов позволяет получить необходимую информацию при принятии решения об утверждении экологических программ для достижения оптимального баланса между экологическими и экономическими целями. Модель широко используется для разработки экологической политики в Европе. Основываясь на том, что в модель включены процедуры расчета воздействия выбросов загрязняющих веществ, она может быть использована для количественной оценки воздействия оксидов азота на здоровье населения.

В модели GAINS ущерб от воздействия оксидов азота может быть рассчитан для здоровья (косвенный) и экосистем (прямой) в натуральных величинах – преждевременной смертности, сокращении продолжительности жизни и площади экосистем, не подвергающихся нагрузкам (по эвтрофикации и закислению) выше критических. Воздействие на здоровье учитывается в действии взвешенных частиц и озона, прекурсором которых являются оксиды азота. Как и в рассмотренной выше методологии программы CAFÉ, прямой ущерб здоровью от воздействия оксидов азота не определяется.

Величина сокращения продолжительности жизни вследствие воздействия взвешенных частиц, в том числе и вторичных, на основании зависимости «доза-эффект» и концентрации загрязняющего вещества [1].

Для оценки ущерба от преждевременной смертности от приземного озона в модели GAINS используется подход, основанный на показателе годовой суммы максимальных суточных значений средних 8-часовых концентраций приземного озона выше 35 ppb (SOMO35), соответствующем риску для населения и численности населения.

Ущерб от воздействия только оксидов азота может быть получен как разница между сум-

марным ущербом от воздействия взвешенных частиц, озона и оксидов азота и ущербом от воздействия взвешенных частиц и озона при нулевом уровне выбросов NO_x и органических соединений.

С использованием модели GAINS рассчитаны величины сокращений продолжительности жизни (для населения Беларуси старше 35 лет) и преждевременной смертности для различных уровней валовых выбросов оксидов азота.

Суммарный ущерб от воздействия взвешенных частиц, оксидов азота и озона на здоровье оценивается в 1470 евро/т NO_x. Вклад собственно оксидов азота в ущерб от воздействия первичных и вторичных взвешенных веществ и озона составит около 30%.

Выраженный в натуральных величинах годовой ущерб от преждевременной смертности от воздействия только оксидов азота составит 0,16 человек/тыс. т, от сокращения продолжительности жизни – 78,7 лет/тыс. т. Ущерб от выбросов 170 тыс. т оксидов азота составит 27,2 человека и сокращение продолжительности жизни на 13 тыс. лет суммарно для всего населения Беларуси. Экономический эквивалент указанного ущерба составляет 83,7 млн евро, что соответствует 490 евро/т выбросов NO_x и согласуется с результатами оценок по методологии Программы CAFÉ.

Таким образом, установленными эффектами кратковременного воздействия диоксида азота на здоровье является разъедающее действие на кожу и дыхательные пути вплоть до отека легких с летальным исходом. При этом степень тяжести последствий находится в сложной зависимости от состояния здоровья конкретного человека (возраст, общее состояние организма, наличие других заболеваний) и его образа жизни, а также окружающей среды (влажности, сила ветра, температура воздуха). Влияние каждого из компонентов в отдельности пока не установлено.

Несмотря на установленный перечень эффектов для здоровья, вызываемых оксидами азота, существующие методики оценки ущерба учитывают лишь косвенное воздействие как прекурсора твердых частиц и озона. Ущерб от косвенного воздействия оксидов азота может быть получен только путем сопоставления величин ущерба с разными уровнями выбросов взвешенных частиц и оксидов азота. Оценки ущерба прямого воздействия NO_x на здоровье невозможны по причине недостаточного количества исследований и достоверности получаемых результатов.

Согласно полученным оценкам, ущерб от косвенного воздействия выбросов оксидов азота в Беларуси составляет 440–1050 евро/т NO_x. С учетом общего уровня выбросов NO_x годовой ущерб в 2010 г. составил 75–178 млн евро. Такой диапазон ущерба соответствует 0,12–0,30 % ВВП и сопоставим с общими затратами на охрану ат-

мосферного воздуха, составляющими около 0,25 % ВВП. Полученные оценки согласуются с данными для других стран: общий ущерб от загрязнения воздуха оценивается на уровне 1% ВВП во Франции, 2 % ВВП в Нидерландах. Согласно оценке [13], ущерб от загрязнения воздуха в США в 2003 г. составил 0,7 % ВВП.

В дальнейших исследованиях необходимо установить пути возможного сокращения негативного воздействия посредством снижения выбросов и выполнить их экономическую оценку с учетом полученных значений ущерба.

Литература

1. **Какарека, С. В.** Оценка потенциала снижения выбросов твердых частиц / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская // Природопользование. 2011. Вып. 19. Минск, 2011. С. 22–30.
2. **Румянцев, Г. И.** Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения / Г. И. Румянцев, С. М. Новиков, Е. А. Шашина. [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://erh.ru/n_pub/n_pub03.php. Дата доступа : 20.02.2012.
3. **Трунов, И. Л.** Экономический эквивалент человеческой жизни / И. Л. Трунов, Л. К. Трунова // Вестн. РАЕН. 2004. Вып. 4. С. 12–15.
4. **Bredt, D. S.** Nitric oxide: a physiologic messenger molecule / D. S. Bredt // Annual Revue Biochem. 1994. Vol. 63. P. 175–195.
5. **Brugge, D.** Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: A review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks / D. Brugge, J. L. Durant, C. Rioux. // Environmental Health. 2007. Vol. 12. P. 1–12.
6. **Brunekreef, B.** Air pollution and health / B. Brunekreef, ST. Holgate // Lancet. 2002. Vol. 360. P. 1233–1242.
7. **Damages** per tonne emission of EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas. Oxon: AEA Technology Environment. 2005.
8. **Dubowsky, S. D.** Obesity, and Hypertension May Enhance Associations between Air Pollution and Markers of Systemic Inflammation / S. D. Dubowsky // Environmental Health Perspectives. 2006. Vol. 114. № 7. P. 992–998.
9. **Gauderman, W. J.** Childhood asthma and exposure to traffic and nitrogen dioxide / W. J. Gauderman [et al.] // Epidemiology. 2005. Vol. 16. P. 737–743.
10. **Godish, T.** Air Quality. 4th edition. Florida: CRC Press LLC / T. Godish. 2004.
11. **Holland, M.** Benefits Table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe / M. Holland, P. Watkiss. 2002.
12. **Kneese, A. V.** Economics and the Environment: A Materials Balance Approach / A. V. Kneese. Baltimore: The John Hopkins Press for Resources for the Future, Inc., 1977.
13. **Muller, N. Z.** Measuring the damages of air pollution in the United States. New Haven: Yale University / N. Z., Muller. 2007. P. 24.
14. **Nitrogen** dioxide // In The toxic substances list. Rockville, MD: U.S.: DHEW (NIOSH) Publication, 1974. P. 74–134.
15. **Nurkiewicz, T. R.** Pulmonary nanoparticle exposure disrupts systemic microvascular nitric oxide signaling. // Toxicological sciences: an official journal of the Society of Toxicology / T. R. Nurkiewicz. 2009. Vol. 110. № 1. P. 191–203.
16. **Peters, J. M.**, A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution: Prevalence of respiratory morbidity / J. M. Peters // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 1999. Vol. 159. P. 760–767.
17. **Rogowski, O.** Effect of Short-Term Exposure to Near Highway Pollutants in Motor Vehicle Exhaust on Inflammation Sensitive Biomarkers / O. Rogowski [et al.] // Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies. 2011. P. 27–40.
18. **Traffic** pollution affecting unborn children, says asthma expert. University of Sunderland // Science-Daily. 2011. [Электронный ресурс]. Mode of access : <http://www.sciencedaily.com/releases/2011/07/110706094329.htm>. Data of access : 26.02.2012.
19. **Venn, A., Lewis, S., Cooper, M.** Local road traffic activity and the prevalence, severity, and persistence of wheeze in school children: combined cross sectional and longitudinal study / A. Venn, S. Lewis, M. Cooper // Occupational & Environmental Medicine. 2000. Vol. 57. P. 152–158.
20. **WHO** Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 2005.

O. Ю. Круковская, С. В. Какарека

**ПОДХОДЫ К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА ОТ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКСИДОВ АЗОТА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

Выполнен анализ подходов к количественной оценке воздействия оксидов азота на здоровье. Рассмотрены механизмы токсического воздействия оксидов азота на здоровье по результатам клинических и эпидемиологических исследований. Проанализированы подходы к определению и выполнена предварительная количественная оценка ущерба от выбросов оксидов азота для населения Беларуси.

Показано что, оксиды азота действуют в первую очередь на дыхательную и сердечно-сосудистую систему. Несмотря на статистически подтвержденные респираторные эффекты, методы оценки ущерба от прямого воздействия оксидов азота на здоровье не определены. Выполнен расчет ущерба от косвенного воздействия оксидов азота. Показано, что для Беларуси величина ущерба сопоставима с совокупными затратами на охрану атмосферного воздуха и составляет 0,12-0,30 % ВВП. С учетом полученного уровня ущерба существует необходимость экономической оценки технологий снижения выбросов оксидов азота.

O. J. Krukowskaya, S. V. Kakareka

**APPROACHES TO QUANTITATIVE EVALUATION OF DAMAGE
FROM IMPACT OF NITROGEN OXIDES ON THE HEALTH**

In this article approaches to quantify the impact of nitrogen oxides on health are analysed. The mechanisms of nitrogen oxides toxicity for health on the basis of clinical and epidemiological studies are shown. Approaches to quantitative assessment of damage are analyzed and a preliminary quantitative assessment of damage caused by emissions of nitrogen oxides for the population of Belarus is made.

It is shown that nitrogen oxides affect primarily the respiratory and cardiovascular system. Despite the statistically proven respiratory effects, methods of assessment of damage from direct exposure to nitrogen oxides to health has not defined. Calculations of damage from indirect effects of nitrogen oxides showed that the amount of damage to Belarus is comparable to the total cost for air protection (0.12–0.30 % GDP). Considering the resulting level of damage an economic analysis of nitrogen oxides abatement technologies should be performed.

УДК 502/504(476)

О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ДАННЫХ ПО ОЦЕНКЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ В СООТВЕТСТВИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ

Рассматривается аналитическая система «движущие силы – давление – состояние – воздействие – реагирование» как методическая основа для оценки состояния и использования водных ресурсов страны. Анализируются экологические показатели, применяемые в экологическом бюллетене «Состояние природной среды Беларусь» и Национальном докладе «Состояние окружающей среды Республики Беларусь» для характеристики состояния и использования природных вод, на предмет соответствия указанной схеме.

Аналитическая схема *ДС–Д–С–В–Р* (*движущие силы – давление – состояние – воздействие – реагирование*) предлагается Европейским агентством по окружающей среде (EAOS) как методическая основа для оценок состояния окружающей среды для стран ВЕКЦА (Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии). По мнению многих исследователей [7, 8, 11], этот метод полезен для понимания генезиса и инерционности (живучести) проблем окружающей среды на различных уровнях – от глобального до локального.

Под *движущими силами* подразумеваются экономические, технологические и социальные факторы, которые приводятся в движение деятельностью человека и увеличивают или снижают воздействие на окружающую среду

Давление – это определенные пути, по которым деятельность человека приводит к изменениям в состоянии окружающей среды и воздействует на экосистемы или на общество. Другими словами, это нагрузки, которые формируются в результате деятельности человека и оказывают воздействие на компоненты природной среды.

Состояние – это современные условия окружающей среды, а *воздействия* – последствия изменения (возможно, деградации) природных компонентов или экосистем.

Реагирование (*отклик*) – прежде всего это ответственность общества за экологическую ситуацию, меры, принимаемые для улучшения экологической ситуации.

Отметим, что природные факторы (например, изменение климата, солености или океанических течений) также могут рассматриваться в качестве движущих сил или давления в зависимости от характера оценки и характера природного фактора.

Следовательно, аналитическая схема *ДС–Д–С–В–Р* является структурой организации информации о состоянии окружающей среды. Она отражает сложную цепочку причин и следст-

вий во взаимодействии общества и окружающей среды (рис. 1).

Анализ такой причинно-следственной цепочки может помочь идентифицировать приоритеты и найти наиболее эффективные меры реагирования, которые в принципе могут быть направлены на любую из частей цепочки от изменения движущих сил до адаптации к воздействию [6, 9, 10, 12].

Вместе с тем согласно [1] в национальных докладах стран Европы о состоянии окружающей среды оценка компонентов природной среды, к сожалению, практически не проводится в соответствии со структурой *ДС–Д–С–В–Р* (рис. 2).

Что касается Беларуси, то в Национальном докладе «Состояние окружающей среды Республики Беларусь» (2010) [2] оценка, проведенная в соответствии с экологическими показателями, в определенной мере отражает рассматриваемую структуру. Однако отсутствие опыта проведения оценок подобного рода не позволило применить рассматриваемую аналитическую схему в полной мере.

Для аprobации практической возможности использования структуры *ДС–Д–С–В–Р* для оценки состояния окружающей среды ниже приводится анализ состояния водных ресурсов Беларуси согласно изложенному выше методическому приему. В оценке использованы данные, подготовленные для информационно-аналитического издания «Состояние природной среды Беларусь: экологический бюллетень, 2010 г.» [4], а также некоторые количественные показатели, опубликованные в Национальном докладе «Состояние окружающей среды Республики Беларусь» (2010) [2].

В задачу структурирования входило ранжирование экологических показателей, характеризующих состояние и использование природных вод [5] в соответствии с аналитической схемой «движущие силы – давление – состояние – воздействие – реагирование».

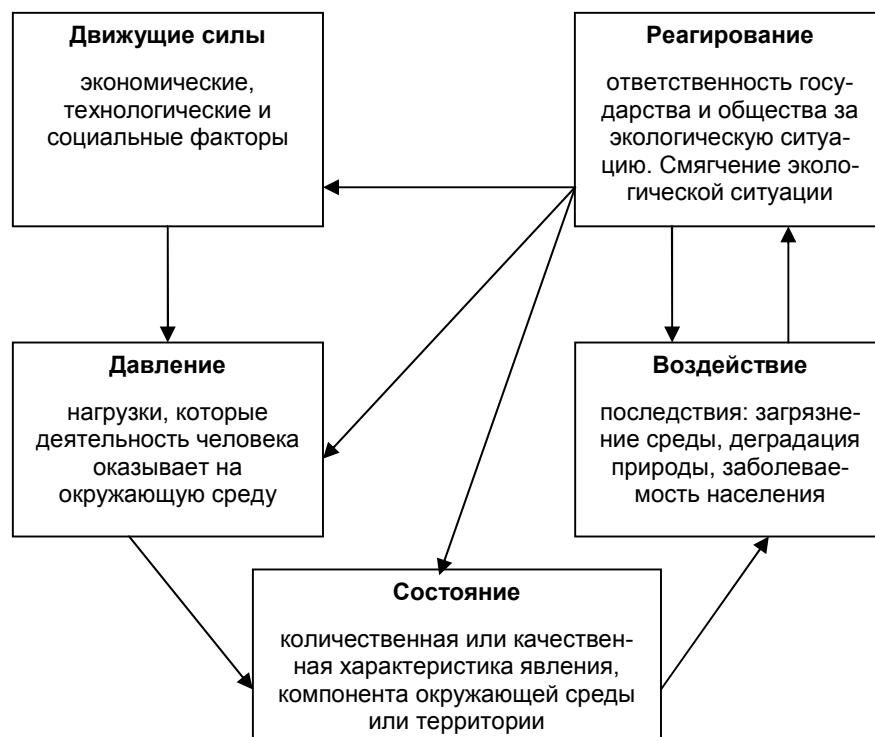


Рис. 1. Визуальное представление структуры ДС-Д-С-В-Р

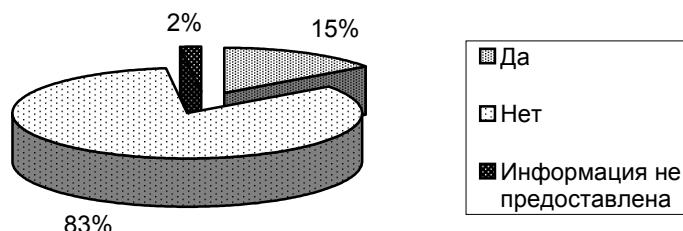


Рис. 2. Использование структуры ДС-Д-С-В-Р в докладах по оценке окружающей среды

Движущие силы

Водные ресурсы являются важнейшей составляющей природно-ресурсного потенциала страны, которая интенсивно используется населением и различными отраслями экономики. В настоящее время водопользование в стране осуществляется с изъятием вод из водных объектов (хозяйственно-питьевое, производственное и сельскохозяйственное водоснабжение, орошение) и без изъятия (гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт, рекреация), т. е. к движущим силам, запускающим механизм изменения состояния и качества водных ресурсов, относятся отрасли экономики.

Основное количество природной воды забирается в Беларусь для нужд коммунального хозяйства. Так, в 2009 г. для отрасли «жилищно-коммунальное хозяйство и бытовое обслуживание» было забрано 761 млн м³, для нужд сельского хозяйства – 492 млн м³, промышленности –

310 млн м³ воды. Забор воды по отраслям экономической деятельности в процентном отношении показан на рис. 3.

Использование воды в различных отраслях экономики определяет необходимое количество водных ресурсов, изъятых из поверхностных источников и забранных из подземных водоносных горизонтов. При этом их использование должно быть строго регламентировано, чтобы исключить возможность необратимых изменений в состоянии окружающей среды.

Всеми отраслями экономики Беларусь в 2010 г. использовано 1359 млн м³ свежей воды, что на 21 млн м³ больше, чем в 2009 г. При этом на хозяйственно-питьевые нужды израсходовано 36 % общего количества использованной воды, производственные – 29, прудовое рыбное хозяйство – 26, сельскохозяйственное водоснабжение – около 8, на орошение – менее 1 %.

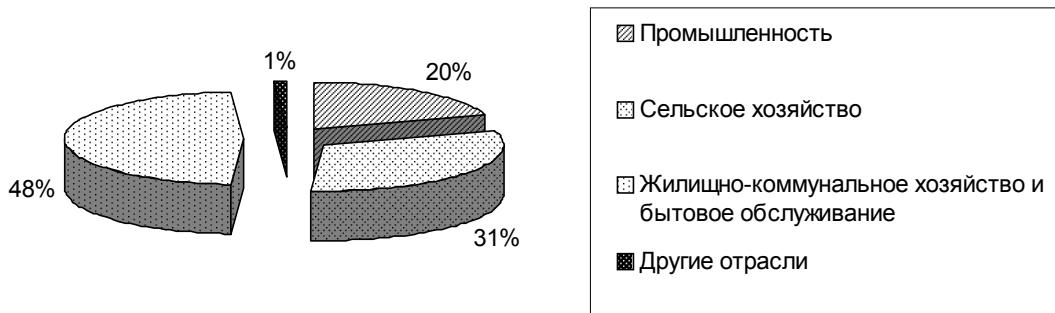


Рис. 3. Забор воды по отраслям экономической деятельности в Беларуси в 2009 г.

Давление

Представление о нагрузках на природные воды, формирующихся в ходе эксплуатации водных ресурсов, дает анализ следующих экологических показателей – «забор пресных вод», «индекс эксплуатации водных ресурсов», «отведение сточных вод в водные объекты» и «загрязненные сточные воды».

Экологический показатель «забор пресных вод» позволяет оценить давление на окружающую среду в связи с изъятием поверхностных и

подземных вод, выявить тенденции в изменении объемов забираемой пресной воды и определить состояние возобновляемых ресурсов пресных вод в стране.

В структуре общего водозабора в Беларуси по-прежнему доминирует добыча воды из подземных горизонтов (табл. 1). При этом в большинстве областей страны (за исключением Минской) на долю подземных вод приходится более 50 % суммарного забора воды, а в ряде городов – более 80 %

Таблица 1. Структура забора природных вод в Беларуси в 2005–2010 гг., млн м³

Год	Водозабор			Подземный водозабор, %
	общий	поверхностная вода	подземная вода	
2005	1773	739	1034	58
2006	1730	720	1010	58
2007	1698	737	961	57
2008	1638	719	919	54
2009	1573	715	858	54
2010	1598	721	877	55

Степень эксплуатации естественных водных ресурсов на национальном и региональном уровнях характеризует индекс эксплуатации водных ресурсов (ИЭВР) – показатель, который рассчитывается как отношение общего годового объема водозабора к среднемноголетнему годовому объему возобновляемых ресурсов пресных вод. Пороговое значение ИЭВР, являющееся основой для сопоставления различных стран и регионов с ненапряженным и напряженным водным режимом, составляет около 20 %. Высокая напряженность отмечается в тех случаях, когда ИЭВР превышает 40 %.

На национальном уровне ИЭВР в различные годы изменяется весьма незначительно (2,8–3,0 %) и свидетельствует о том, что суммарный забор воды для всех отраслей хозяйственной деятельности не оказывает существенного давления на имеющиеся в стране водные ресурсы.

Воды, отработанные в отраслях экономики, отводятся в поверхностные водные объекты, подземные горизонты и различного рода накопители. В Беларуси основной объем сточных вод сбрасывается в реки.

Показатели «отведение сточных вод в водные объекты» и «загрязненные сточные воды» определяют уровень и характер давления на поверхностные воды, позволяют оценить принятые меры по повышению степени очистки сточных вод.

В 2010 г. первый показатель описывался следующими параметрами: в водные объекты страны было отведено 990 млн м³ сточных вод. Среди сточных вод количественно преобладали нормативно-очищенные воды (671 млн м³). Сточные воды, сбрасываемые без очистки, составили 314 млн м³, а объем недостаточно-очищенных сточных вод возрос до 5 млн м³. В водные объекты бассейна Днепра в 2010 г. поступило 72 % (674 млн м³) от общего объема сточных вод, содержащих различные загрязняющие вещества. В бассейнах Немана, Западной Двины, Припяти и Западного Буга в реки отведено соответственно 123 млн м³, 97, 242 и 39 млн м³ сточных вод. Самому значительному антропогенному прессу подвержены водотоки в бассейне Днепра [4].

В отраслевой структуре водоотведения самое большое количество сточных вод, как правило, приходится на жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) и бытовое обслуживание. Так, в

2009 г. на долю ЖКХ пришлось 60 % отведенных сточных вод, на промышленность и сельское хозяйство – соответственно 16 и 24 % (рис. 4).

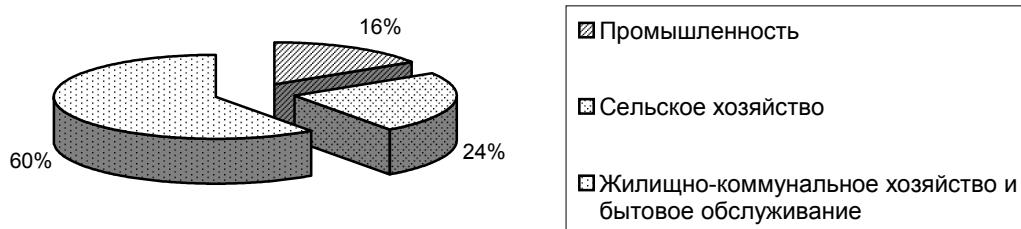


Рис. 4. Отведение сточных вод в водные объекты отраслями народного хозяйства Беларуси в 2009 г.

Показатель «загрязненные сточные воды» отчетливо фиксирует неэффективность работы очистных сооружений, поскольку на сточные воды, содержащие загрязняющие вещества после очистки, как правило, приходится более 80 % от всего объема отведенных в водные объекты сточных вод. Так, в 2010 г. их объем составил 933 млн м³ или 94 % (в 2009 г. – 89 %).

Наибольшее количество сточных вод, содержащих загрязняющие вещества (61 % их суммарного объема), отводится главным образом в сфере ЖКХ. С хозяйственно-бытовыми сточными водами в водные объекты в среднем сбрасывается 92 % всего сбрасываемого в реки аммонийного азота, 75 % нитритов, 86 % фосфатов, 77 % органических веществ, 83 % СПАВ, 84 % хлоридов, 83 % нефтепродуктов, 70 % взвешенных веществ и 50 % сульфатов.

С прудовым рыбным хозяйством связано поступление в реки и озера с отведенными сточными водами 95 % сульфатов, 90 % хлоридов, по 89 % органических веществ и взвешенных веществ и 71 % аммонийного азота от общего количества загрязняющих веществ, образующихся в сельскохозяйственной отрасли.

Среди локальных источников загрязнения поверхностных вод выделяются областные города и г. Минск, доля которых в общей нагрузке по тяжелым металлам (железо, никель, цинк и хром) составляет 33 %, взвешенным веществам – 53, аммонийному азоту – 54, нитратам – 57, нитритам – 44, нефтепродуктам – 42, органическим веществам – 50 %.

Количество загрязняющих веществ, поступивших в водные объекты Беларуси в составе сточных вод в 2006–2010 гг., приведено в табл. 2.

Таблица 2. Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты Беларуси в 2006–2010 гг.

Показатель	Размерность	Год				
		2006	2007	2008	2009	2010
Органические вещества (БПК ₅)	тыс. т	8,9	8,3	8,1	7,9	8,0
Нефтепродукты	тыс. т	0,20	0,15	0,14	0,13	0,12
Взвешенные вещества	тыс. т	14,6	13,6	12,0	12,6	13,2
Сульфаты	тыс. т	62,7	59,5	60,7	63,5	56,0
Хлориды	тыс. т	74,4	71,3	72,8	72,9	65,0
Азот аммонийный	тыс. т	6,4	6,0	5,6	5,4	5,5
Азот нитритный	тыс. т	0,34	0,25	0,20	0,19	0,16
Азот нитратный	тыс. т	3,7	3,4	3,7	3,7	3,5
Медь	т	9,8	10,0	7,6	6,7	5,0
Другие металлы (железо, цинк, никель, хром)	т	518,0	449,0	438,0	421,1	494,0

Состояние

Согласно рекомендациям [5] оценка химического состояния рек страны проводится с использованием экологических показателей, которые включают среднегодовые концентрации «органических веществ, нормируемых по БПК₅»,

«азота аммонийного», «азота нитратного» и «фосфора фосфатного». Рассмотрение названных показателей безотносительно к стандартам качества (ПДК) дает представление о гидрохимической ситуации на реках страны, оказываю-

щей влияние на экологическое состояние речных экосистем.

Для самого общего представления о состоянии речных вод можно использовать среднегодовые концентрации ингредиента, характеризующие его минимальное и максимальное содержание в воде контролируемых створов, как это показано для азота аммонийного (табл. 3).

Более детальная оценка состояния предполагает анализ содержания ингредиента в воде каждого конкретного створа рассматриваемой реки. С этой целью гидрохимическая информация компонуется в таблицах, в которых кроме среднегодовых значений концентраций азота аммонийного представлены пределы его содержания в годовом разрезе (табл. 4, 5).

Таблица 3. Минимальные и максимальные величины среднегодовых концентраций азота аммонийного в воде основных рек Беларуси в 2006–2010 гг., мгN/дм³

Река	Год									
	2006		2007		2008		2009		2010	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Западная Двина	0,15	0,77	0,14	0,44	0,17	0,60	0,16	0,56	0,14	0,63
Неман	0,37	0,51	0,17	0,35	0,16	0,34	0,18	0,62	0,23	0,50
Западный Буг	0,28	0,59	0,26	0,51	0,26	0,53	0,21	0,51	0,22	0,48
Мухавец	0,38	0,64	0,35	0,61	0,40	0,52	0,34	0,88	0,33	1,07
Днепр	0,34	0,83	0,26	0,70	0,22	0,77	0,26	0,89	0,24	0,71
Березина	0,69	1,49	0,45	1,89	0,53	1,37	0,58	1,06	0,59	1,40
Свислочь	0,32-	4,46	0,31	4,08	0,18	3,06	0,28	2,38	0,22	2,55
Припять	0,45	1,57	0,35	1,39	0,25	0,77	0,26	0,75	0,29	1,18
ПДК					0,39					

Таблица 4. Среднегодовые концентрации и пределы содержания азота аммонийного в воде р. Западной Двины в 2010 г., мгN/дм³

Створ	Среднегодовая концентрация	Наименьшее содержание	Наибольшее содержание
0,5 км выше пгт. Суражка	0,32	0,20	0,42
1,3 км выше г. Витебска	0,14	0,06	0,24
2,0 км ниже г. Витебска	0,16	0,05	0,29
2,0 км выше г. Полоцка	0,62	0,48	0,83
1,5 км ниже г. Полоцка	0,62	0,44	0,76
7,5 км ниже г. Новополоцка	0,63	0,42	0,86
15,5 км ниже г. Новополоцка	0,63	0,39	0,85
2,0 км выше г. Верхнедвинска	0,53	0,38	0,85
5,5 км ниже г. Верхнедвинска	0,52	0,36	0,92
0,5 км ниже н.п. Друя	0,35	0,20	0,50
ПДК	0,39		

Таблица 5. Среднегодовые концентрации и пределы содержания азота аммонийного в воде р. Немана в 2010 г., мгN/дм³

Створ	Среднегодовая концентрация	Наименьшее содержание	Наибольшее содержание
В черте н.п. Николаевщина	0,46	0,10	1,12
1,0 км выше г. Столбцы	0,50	0,08	1,53
0,6 км ниже г. Столбцы	0,50	0,14	1,30
0,9 км выше г. Мосты	0,43	0,24	0,88
5,3 км ниже г. Мосты	0,44	0,26	0,76
1,0 км выше г. Гродно	0,41	0,16	0,80
10,6 км ниже г. Гродно	0,45	0,20	0,92
н.п. Привалка, 0,5 км от границы с Литвой	0,23	0,08	0,38
ПДК	0,39		

Аналогичные таблицы составляются для всех анализируемых ингредиентов и всех крупных рек страны, что позволяет провести пространственный анализ и охарактеризовать гидрохимическое состояние рек страны.

Воздействие

Как структурная единица аналитической схемы воздействие в данном случае включает в себя информацию о последствиях изменения химического состава природных вод, качество которых становится не пригодным для использо-

вания или свидетельствует о деградации речных и озерных экосистем.

Основным стандартом качества речных вод в Беларуси является предельно допустимая концентрация химических веществ (ПДК), устанавливаемая для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Превышение ПДК идентифицирует загрязнение поверхностных вод Беларуси.

Сравнительный анализ концентрации химических веществ в воде контролируемых створов на реках с ПДК позволяет выявить загрязненные участки рек. В качестве примера ниже представлено несколько графиков, которые иллюстрируют рассматриваемый блок аналитической схемы.

На рис. 5 и 6 показаны участки рек Западной Двины и Немана, для которых характерно «аммонийное» загрязнение.

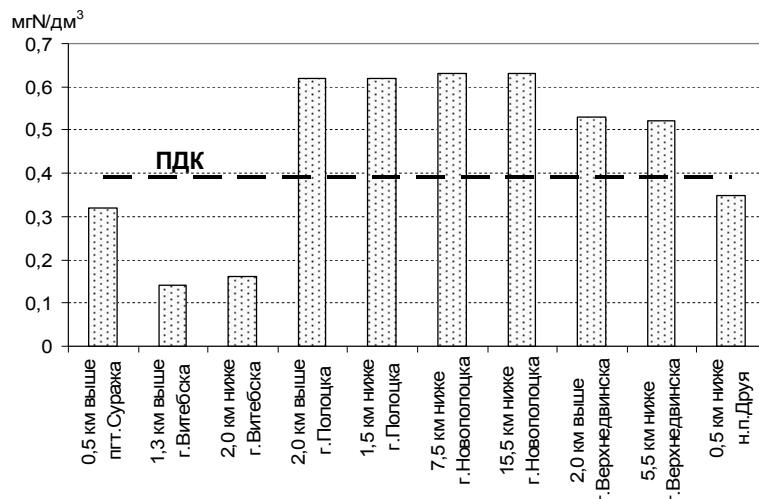


Рис. 5. Среднегодовое содержание азота аммонийного в воде р. Западной Двины в 2010 г.

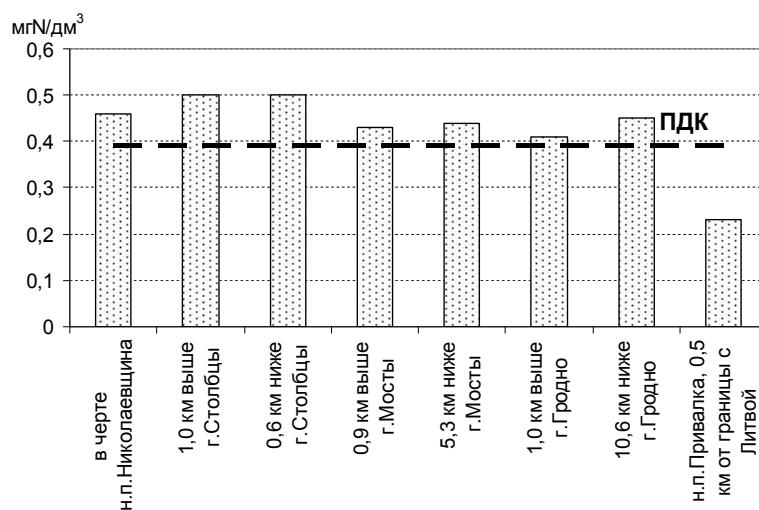


Рис. 6. Среднегодовое содержание азота аммонийного в воде р. Немана в 2010 г.

Загрязнение р. Березины фосфором фосфатным на отрезке реки от г. Борисова до створа, расположенного ниже г. Светлогорска, отчетливо зафиксировано на рис. 7. Как известно, «фосфатное» загрязнение рек способствует развитию процессов эвтрофирования, что, в свою очередь, свидетельствует об изменении функционирования речных экосистем.

Реагирование

К экологическим показателям, идентифицирующим эффективность мер, направленных на улучшение водохозяйственной системы в стране, относятся «потери воды», «повторное и оборотное использование пресной воды» и «мощность очистных сооружений».

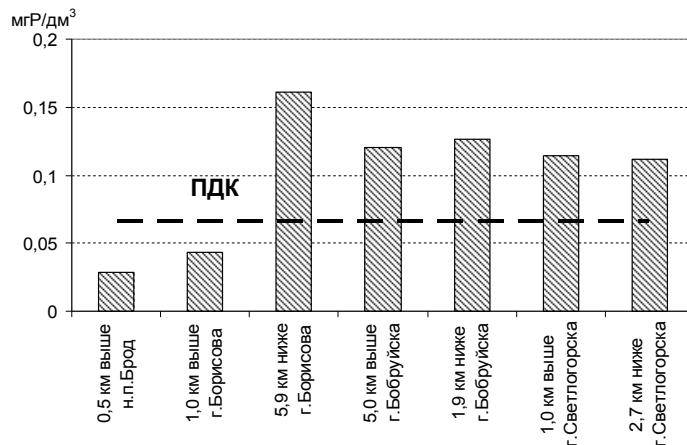


Рис. 7. Среднегодовое содержание фосфора фосфатного в воде р. Березины в 2010 г.

Эффективность водопользования, как известно, играет ключевую роль в обеспечении сбалансированности показателей водоснабжения и водопотребления. Частично эту задачу можно решить путем снижения потерь при транспортировке воды к местам использования и поддержания водопроводных систем в надлежащем техническом состоянии.

Показатель «потери воды» дает представление о годовом объеме пресной воды, теряемой при транспортировке (в результате фильтрации, испарения, утечек, аварий и так далее) в системах подачи воды между пунктом забора и пунктом использования. К другой составляющей показателя относится удельный вес пресной воды, теряемой при транспортировке, который пред-

ставляет собой отношение объема теряемой при транспортировке пресной воды к общему объему забранной (полученной) воды.

Пример анализа рассматриваемого показателя приведен ниже по материалам, опубликованным в Национальном докладе «Состояние окружающей среды Республики Беларусь» (2010) [2].

В 2009 г. объем потерь воды при транспортировке в целом уменьшился по сравнению с 2008 г. на 47 млн m^3 и составил 84 млн m^3 . При этом в объем потерь не включено количество неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения, на которые пришлось 56 млн m^3 . Потери воды при транспортировке составляли в разные годы от 5 до 8 % от общего количества забранной природной воды (рис. 8).

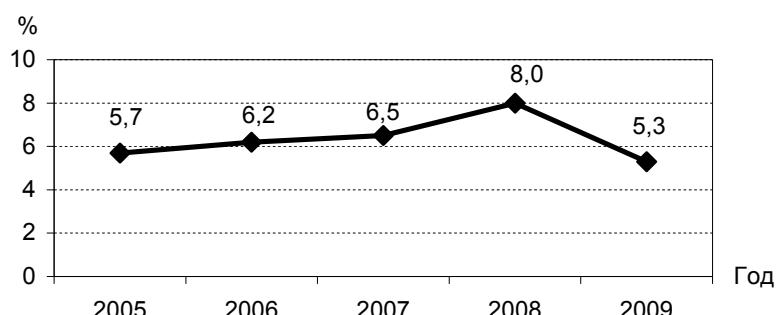


Рис. 8. Удельный вес потерь пресной воды при транспортировке в Беларуси в 2005–2009 гг.

Показатель «повторное и оборотное использование пресной воды» характеризует долевое участие повторно используемой и оборотной воды в общем объеме воды, расходуемой на производственные нужды. Он определяет процентную долю воды, сэкономленной благодаря применению систем оборотного и повторного использования воды в целом для страны и по видам экономической деятельности.

Показатель «мощность очистных сооружений» характеризуется максимальным количест-

вом отводимой в водные объекты воды, которая могла бы быть очищена при проектной нагрузке за определенный год. Он позволяет получить информацию для определения эффективности работы существующих очистных сооружений.

В настоящее время в отношении очистных сооружений в стране сложилась ситуация, когда объекты очистки сточных вод в городах страны, как правило, используются не на полную мощность, степень их загрузки изменяется от 32 до 70 % (рис. 9).

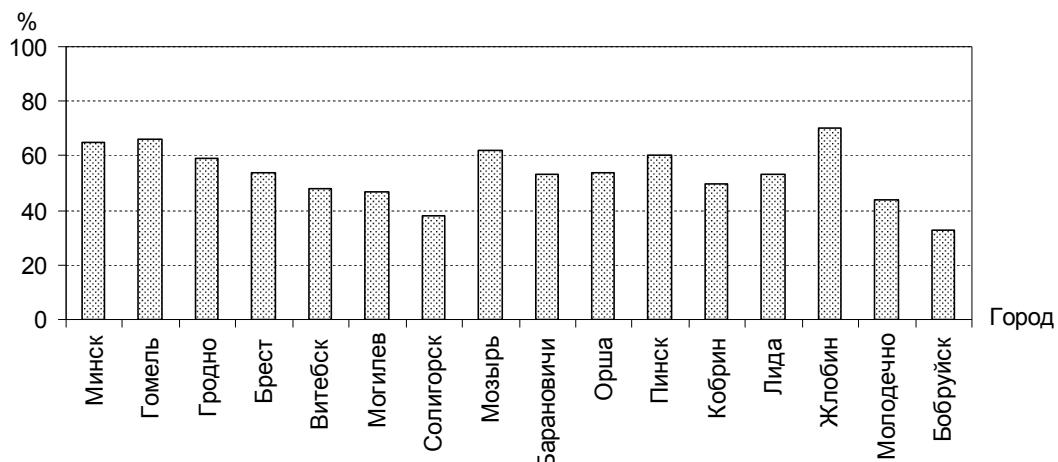


Рис. 9. Степень загрузки очистных сооружений в городах Беларуси, % [3]

Многие очистные сооружения принимают сточные воды с концентрацией по отдельным ингредиентам, превышающей нормируемые значения. Кроме того, имеются случаи перегрузки очистных сооружений, требующих реконструкции или находящихся в процессе реконструкции (например, в г. Гродно). В результате в водные объекты поступают недостаточно очищенные сточные воды, содержащие различные загрязняющие вещества.

Оценить принятые меры по повышению степени очистки сточных вод позволяет также и

рассмотренный выше экологический показатель «загрязненные сточные воды», который представляет собой удельный вес загрязненных сточных вод, отведенных в водные объекты, в общем объеме стоков в стране за год.

Объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в настоящее время имеет тенденцию к сокращению. Однако доля сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в общем объеме отводимых в водные объекты сточных вод за последние годы практически не изменилась (рис. 10).

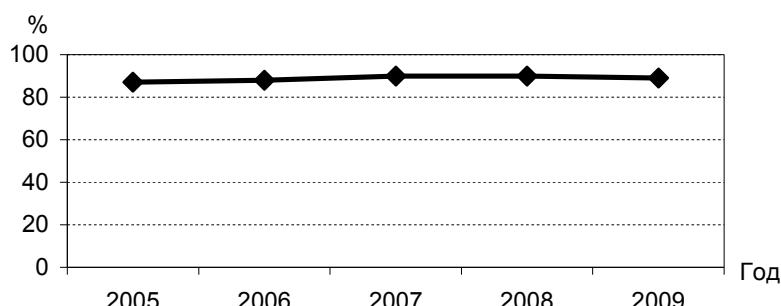


Рис. 10. Доля сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в общем объеме отводимых вод в Беларуси в 2005–2009 гг. [3]

Следовательно, повышение эффективности очистки сточных вод и уменьшение сброса загрязняющих веществ в водные объекты все еще остается проблемой, которую необходимо решать путем строительства новых и реконструкции действующих очистных сооружений, насосных станций и канализационных сетей.

В заключении отметим, что оценка водных ресурсов в соответствии с аналитической схемой *ДС–Д–С–В–Р* хорошо отражает причинно-следственные связи их изменения в процессе использования. *Движущие силы* в лице систем жизнеобеспечения водой населения, промышленности и сельского хозяйства определяют количество необходимой для использования воды. *Давление на природные воды* характеризуют за-

бор пресных вод, индекс эксплуатации водных ресурсов, отведение сточных вод в водные объекты и сточные воды, содержащие загрязняющие вещества после очистки (загрязненные сточные воды). *Состояние рек – водоприемников сточных вод* описывается содержанием в речных водах органических веществ, нормируемых по БПК₅, азота аммонийного, азота нитратного и фосфора фосфатного. *Воздействие* идентифицируется загрязнением речных вод органическими веществами, азотом аммонийным и фосфором фосфатным. Блок *реагирование* включает показатели, тенденции в изменении которых отражают степень эффективности природоохранных мероприятий.

Литература

1. **Окружающая** среда Европы. Оценка оценок окружающей среды Европы (2011). [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://www.unece.org/fileadmin.../EasternEurope.AoA_en_rus_final.pdf.
2. **Состояние** окружающей среды Республики Беларусь : Национальный докл. / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Ин-т природопользования Нац. акад. наук Беларуси. Минск, 2010.
3. **Состояние** природной среды Беларуси : эколог. бюл., 2009 г. / под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2010.
4. **Состояние** природной среды Беларуси : эколог. бюл., 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2011.
5. **Экологические** показатели и основанные на них оценочные доклады. Восточная Европа, Кавказ и Центральная Азия / ЕЭК ООН. Нью-Йорк; Женева, 2007.
6. **Applying DPSIR to sustainable development** / Edward R. Carr et al. // International J. of Sustainable Development and World Ecology. 14. 2007. P. 543–555.
7. **Bidone, E.** The use of DPSIR framework to evaluate sustainability in coastal areas / Case study: Guanabara Bay basin, Rio de Janeiro, Brazil / E. Bidone, L. Lacerda // Regional Environmental Change. 4 (1). 2004. P. 5–16.
8. **Impact** of 100-year human interventions on the deltaic coastal zone of the Inner Thermaikos Gulf (Greece): A DPSIR framework analysis / A. P. Karageorgis [et al.] // Environmental Management. 38 (2). 2006. P. 304–315.
9. **Liveable** cities, 2007. The Benefits of Urban Environmental Planning. [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.citiesalliance.org/index.html>.
10. **Ngo Tho Hung.** Urban Air Quality Modeling and Management in Hanoi, Vietnam. PhD Thesis, 2010. [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.olmu.dk/pub/phd/nth.pdf>
11. **United Nations Environment Programme** // Global Environment Outlook 3: Past, present and future perspectives. London : Earthscan, 2002.
12. **Walmsley, J. J.** Framework for measuring sustainable development in catchment systems / J. J. Walmsley // Environmental Management. 29 (2). 2002. P. 195–206.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 5.04.2012

O. V. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ДАННЫХ ПО ОЦЕНКЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ В СООТВЕТСТВИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ

Рассматривается аналитическая система «движущие силы – давление – состояние – воздействие – реагирование» как методическая основа для оценки состояния и использования водных ресурсов страны. Анализируются экологические показатели, применяемые для характеристики состояния и использования природных вод в экологическом бюллетене «Состояние природной среды Беларусь» и Национальном докладе «Состояние окружающей среды Республики Беларусь», на предмет их соответствия указанной схеме. Устанавливается, что оценка водных ресурсов в соответствии с рассматриваемой схемой хорошо отражает причинно-следственные связи их изменения в процессе использования.

O. V. Kadetskaya, E. V. Sanets, E. P. Ovcharova

STRUCTURING OF THE DATA ON WATER RESOURCES OF BELARUS ESTIMATION ACCORDING TO INTERNATIONAL REQUIREMENTS

The analytical scheme «driving forces – pressure – state – impact – response» is considered as a methodological base for the assessment of state and use of water resources of the country. Environmental indicators, which are applied in the ecological bulletin «State of nature environment of Belarus» and National report «The state of environment in the Republic of Belarus» for the characterization of state and use of water resources are estimated for their correspondence to this scheme. It is demonstrated that the assessment of water resources in accordance with considered analytical scheme reflects the cause-effect relations of water resources changing during their use.

УДК 550.4:551.3

**О. В. Лукашёв, Д. Л. Творонович-Севрук, Н. Г. Лукашёва,
Н. В. Жуковская, С. В. Савченко**

ПЕРЕНОС МЕТАЛЛОВ СО ВЗВЕШЕННЫМ ВЕЩЕСТВОМ В ВОДАХ РЕКИ ПТИЧЬ

На основе изучения содержания микроэлементов во взвешенном веществе в водах двух сопряженных водных объектов, сформировавшихся под действием преимущественно биолитогенного и биогенного факторов, установлено, что при переходе к биолитогенному фактору формирования речных вод происходит увеличение средней концентрации большинства изученных металлов в 1,4–1,8 раза. Увеличение содержания более чем в 2 раза отмечено для Ti и Zr, снижение – для Sn (в 1,4 раза).

В целях изучения закономерностей переноса элементов-металлов в составе взвесей речного стока в агротехногенных условиях в 2009–2010 гг. были проведены наблюдения на геохимическом стационаре, расположенным на границе верхнего и нижнего течения р. Птичь (203 км от истока) в пределах агрогородка «Дараганово» Осиповичского р-на Могилевской обл.

Агрогородок сформирован при объединении деревень Дараганово, Ковгары, Птушичи, Ульяновка. Здесь размещаются Дарагановское лесничество, колхоз «Ковгарский», спиртзавод, два лесопильных цеха, больница на базе санаторной школы-интерната, средняя школа, торговые объекты, баня, имеется железнодорожная станция; водопроводная сеть и канализация развиты незначительно. Геохимический стационар удалён от ближайших промышленных центров г. Осиповичи Могилевской обл. и г. Старые Дороги Минской обл. на 20 и 25 км соответственно. На расстоянии более 50 км к северо-востоку располагается г. Бобруйск.

На территории геохимического стационара, площадь которого равна 25 км², отбирались снежные и речные воды (р. Птичь, мелиоративная канава Млынок), из которых в лабораторных условиях методом фильтрования выделялось взвешенное вещество. Содержание металлов (всего 20 элементов) в золах взвесей выполнялось методом эмиссионного спектрального анализа в Лаборатории физико-химических методов БелНИГРИ.

В связи с тем, что различные проблемы геохимического поведения металлов в агротехногенных условиях изучены недостаточно, в данной статье рассматривается годовая динамика их переноса во взвешенном состоянии в водах р. Птичь и впадающей в неё мелиоративной канавы Млынок.

Металлы во взвешенном веществе снежных вод. В состав пылевых выпадений из атмосферы на территории агрогородка «Дараганово» входит пыль регионального фона, а также пылевая составляющая выбросов систем ото-

щения местного жилищно-коммунального хозяйства. Высота дымовых труб редко превышает 7 м, что обуславливает незначительный разнос золы (первые сотни метров). Техногенная составляющая пыли снежного покрова в пределах селитебной зоны в основном наследует состав сжигаемого топлива. Это главным образом продукты горения торфобрикета и древесины преимущественно твёрдых лиственных пород.

Пробы снежного покрова отбирались в феврале 2009 г. в лесном массиве, в селитебной и автотранспортной зонах, а также в речной долине на пробных площадках размером 50×50 м (рис. 1, табл. 1).

Наибольшие концентрации всех изученных металлов во взвешенном состоянии отмечены в пределах *транспортной* функциональной зоны – (площадка 2), тогда как наименьшие – в селитебной зоне (площадка 1). Повышенным содержанием Ni, Sn и Pb выделяется селитебная зона (площадка 3), а также повышенной концентрацией группы элементов – участок речной поймы (площадка 5), примыкающей к агрогородку и автомагистрали.

Таким образом, в пределах одного населённого пункта сельского типа антропогенное воздействие на состав снежных вод проявляется в виде 2–3-кратного увеличения содержания взвешенной формы многих химических элементов-металлов. Так как в бассейне р. Птичь (площадь бассейна – 9558 км² [5]) насчитывается более 300 деревень, а также существует разветвлённая сеть дренирующих территории мелиоративных каналов, можно сделать вывод о наличии влияния антропогенного фактора на увеличение поступления металлов во взвешенном состоянии в воды данной реки.

Металлы во взвешенном веществе речных вод. Река Птичь, протекающая по территории агрогородка на 7-километровом участке от д. Селец до д. Радутичи, подвержена значительному меандрированию, глубина русла изменяется от 1 до 4,5 м, ширина – от 6 до 20 м. Её наиболее крупным левым притоком является ка-

нава Млынок (длина 12 км), ширина русла которой достигает 2 м, глубина – более 1,5 м. Ручьи и канавы, впадающие в р. Птич, спрямлены и канализированы. Протяженность каналов достигает 2,5–3 км/км² водосбора (суммарная длина

притоков р. Птич – преимущественно мелиоративных каналов – составляет более 2000 км, что 5-кратно превышает протяжённость основной реки). Более 1/3 территории водосбора в пределах агрогородка заболочено.

Таблица 1. Содержание микроэлементов во взвешенном веществе снежевых вод геохимического стационара «агрогородок Дараганово» (февраль 2009 г.), мкг/дм³

Проба	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
1	0,0078	15,6	0,719	1,56	4,38	195	0,102	0,398	1,17
2	0,0282	67,7	1,64	3,67	15,0	706	0,339	0,988	3,67
3	0,0196	28,8	1,18	2,62	7,20	458	0,170	0,890	2,29
4	0,0142	29,7	1,27	3,26	6,37	283	0,142	0,849	2,26
5	0,0242	31,5	0,726	2,66	9,68	315	0,194	0,557	2,18
Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Yb	Ba	Pb	
1	1,95	2,34	0,250	2,19	0,117	0,141	0,023	4,69	0,781
2	7,06	8,47	0,706	8,48	0,282	0,282	0,071	19,8	1,83
3	2,62	3,93	0,353	2,82	0,131	0,262	0,039	12,4	1,83
4	4,25	4,25	0,368	3,40	0,212	0,142	0,035	8,49	0,849
5	4,84	4,84	0,484	4,84	0,242	0,242	0,048	10,9	0,605



Рис. 1. Расположение площадок отбора снега на геохимическом стационаре «агрогородок Дараганово»: 1 – селитебная зона; 2 – автодорога; 3 – лесной массив; 4 – расположение площадок опробования снежного покрова

В целях исследования сезонных изменений содержания металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птич и её притока Млынок были выбраны три контрольные точки наблюдений (рис. 2): 1 – на северо-западной окраине д. Дараганово; 2 – у пересечения автодороги и канавы Млынок на северо-западной окраине д. Дараганово; 3 – в 3 км ниже по течению р. Птич от точки 1, за железнодорожным мостом, ниже впадения сточной канавы колхоза «Ковгарский» и одноимённого спиртзавода.

На протяжении годового периода (февраль 2009–январь 2010 г.) ежемесячно в каждой из трех перечисленных точек отбирались пробы речной воды объёмом по 100 л, которые после отстаивания отфильтровывались. Всего был получен 31 образец взвеси.

Установлено незначительное изменение содержания металлов во взвешенном состоянии выше и ниже д. Дараганово (порядка ±5–20 %), что свидетельствует о слабом влиянии данного населённого пункта на химический состав взвеси.



Рис. 2. Схема расположения мест отбора речных вод на геохимическом стационаре «агрогородок Дараганово»:
1–3 – номера точек опробования

Статистические характеристики содержания металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птич и канавы Млынок представлены в табл. 2.

При рассмотрении приведенных данных необходимо учитывать следующее. Хотя, согласно общей схеме гидрохимических провинций поверхностных вод Беларуси, бассейн р. Птич в целом относится к провинции с преобладанием биолитогенного фактора формирования (минерализация 150–250 мг/дм³) [1], в менееенный период минерализация может достигать

в верховье реки 374 мг/дм³, в низовье – 282 мг/дм³, в половодье же по всей длине реки снижаться до 50–135 мг/дм³ [3], что заметно нарушает принятую схему, отражающую, по-видимому, среднегодовые данные. Кроме того, на территории в сопряжённом состоянии одновременно присутствуют воды, сформировавшиеся преимущественно под действием различных факторов (биогенных, литогенных в разных сочетаниях).

Таблица 2. Содержание металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птич и канавы Млынок на стационаре «агрогородок Дараганово» (период февраль 2009–январь 2010 г.), мкг/дм³

Объект	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
р. Птич (n = 19) (A)	0,0017* (н. о.- 0,0048)**	4,98 (1,76- 11,1)	0,075 (0,021- 0,242)	0,219 (0,054- 0,539)	24,2 (2,74- 76,8)	124,7 (16,2- 432,1)	0,048 (0,010- 0,178)	0,104 (0,028- 0,351)	0,517 (0,235- 2,01)
кан. Млынок (n = 12) (B)	0,0011 (н. о.- 0,0091)	2,35 (0,951- 13,7)	0,063 (0,022- 0,319)	0,147 (0,065- 0,367)	13,6 (3,30- 63,8)	79,5 (20,8- 482,8)	0,043 (0,006- 0,153)	0,076 (0,024- 0,364)	0,329 (0,099- 1,37)
A/B	1,39	2,12	1,20	1,49	1,79	1,57	1,12	1,37	1,57
Объект	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Yb	Ba	Pb
р. Птич (n = 19) (A)	0,671 (0,110- 2,04)	0,742 (0,235- 1,78)	0,066 (0,016- 0,177)	0,408 (0,135- 1,35)	0,019 (0,007- 0,048)	0,010 (н. о.- 0,062)	0,0065 (0,0016- 0,0177)	2,53 (1,02- 5,54)	0,198 (0,081- 0,678)
кан. Млынок (n = 12) (B)	0,567 (0,068- 2,73)	0,488 (0,149- 2,73)	0,042 (0,017- 0,364)	0,199 (0,064- 0,911)	0,011 (0,004- 0,082)	0,014 (0,002- 0,081)	0,0042 (0,0016- 0,0364)	1,28 (0,263- 4,37)	0,134 (0,015- 0,672)
A/B	1,18	1,52	1,57	2,05	1,70	0,751	1,55	1,97	1,47

*Среднее содержание.

**Пределы вариации.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при переходе от преимущественно биогенного (канава Млынок) к биолитогенному (р. Птич) фактору формирования речных вод происходит увеличение средней концентрации большинства изученных металлов в 1,4–1,8 раза. Наибольший рост содержания (более 2 раз) отмечен для Ti и Zr, элементов, по-видимому, преимущественно связанных с кластической составляющей взвесей. Практически отсутствие роста концентрации установлено для V, Co и Zn (не более 1,2 раза) и её падение – для Sn (в 1,4 раза).

Содержание металлов во взвешенном состоянии в водах основной реки и её притока в течение года в большинстве случаев не коррелирует (исключение составляют сильная корреляция $r = +0,805$, $p < 0,002$, установленная для Ni, и средняя корреляция $r = +0,601$, $p < 0,05$ – для Nb).

Годовая динамика содержания металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птич и канавы Млынок показана на рис. 3. При интерпретации полученных данных могут быть использованы различные на первый взгляд логически не-противоречивые модели. Например, следующая: в период весеннего половодья талые суглеватые воды разбавляют речные воды, в результате чего концентрация взвешенных микроэлементов резко падает.

Данная модель не учитывает тот факт, что весной талые суглеватые воды мобилизуют и поставляют в реки основную массу продуктов выветривания, сформировавшихся на водохранилище в позднеосенний-зимний период, а не просто стекают в водотоки-приёмники.

Может быть предложена и другая, более обоснованная модель, например, «водно-эрэзационная», основанная на данных внутригодового изменения мутности рек, детально рассмотренных Г. В. Лопатиным в его классической работе «Наносы рек СССР» (1952) [2].

Согласно этой модели: «Внутригодовое изменение мутности реки имеет для различных типов рек свои особенности, определяющиеся как гидравлическими условиями реки, так и физико-географическими условиями водосборного бассейна. Наибольший интерес представляют в этом отношении периоды паводков, так как в эти периоды года происходит основная масса годового стока наносов. На больших равнинных реках наибольшая мутность бывает главным образом на подъёме паводка, что объясняется условиями развития водной эрозии в бассейне реки. На малых же равнинных реках пик мутности зачастую почти совпадает с пиком паводка, так как продолжительность дебегания паводковых вод здесь очень невелика» [2, с. 193]. Кроме того, следует учитывать, что «в зависимости от соот-

ношения абсолютных количеств поступающих в реку продуктов водной эрозии различной крупности, а также в зависимости от транспортирующей способности реки формируется тот или иной механический состав взвешенных наносов. Для тех рек, которые имеют сравнительно небольшое питание поверхности водохранилища бассейна, т. е. небольшую мутность во время прохождения паводка, будет иметь место некоторое увеличение относительного количества крупных частиц наносов по сравнению с мелкими, так как увеличение количества крупных наносов будет происходить на пике паводка интенсивнее, нежели мелких наносов. К таким рекам можно отнести многие равнинные реки Европейской части СССР, например: Волту, Каму, Оку, Дон, Днепр и др.» [2, с. 207].

На примере р. Днепр Г. В. Лопатин также отмечает уменьшение относительной доли органических веществ в составе взвешенного вещества в период весеннего половодья (апрель-май), при соответствующем росте в период летней (июль) и зимней (ноябрь-декабрь) межени [2, с. 227].

Режим р. Птич в ХХ в. изучался на 13 постах. Согласно данным работы [3, с. 202, 206]: «Весенное половодье проходит одной волной, а в годы с недружным снеготаянием и при значительных дождях на спаде – двумя-тремя волнами. Начинается половодье в середине марта в ранние весны – в начале февраля (1957 г.), в поздние – в первой декаде апреля (1958 г.). Продолжается в верхнем течении около 30 дней, в нижнем – 85 дней, затяжные половодья делятся в верховье 70 и в нижнем течении до 130 дней. Средняя высота подъёма в верхнем течении составляет 3,2 м, в нижнем уменьшается до 2 м. Период летне-осенней межени, продолжающейся около 5 месяцев, характеризуется не-значительным колебанием уровня, периодически (1–3 раза за сезон) нарушающим дождовыми паводками высотой 0,6–1 м и продолжительностью 20–30 дней. Наибольший подъём уровня от дождей (до 2 м) отмечался в 1931 г. В отдельные годы (1952) с низким половодьем высота дождевых паводков превосходит весенние подъёмы. Осенние и зимние паводки наблюдаются почти ежегодно, высота их нередко оказывается выше летних, составляет 0,7–1,8 м над меженью, максимальная – 1–2,5 м. В 1948 г. высота зимнего паводка у с. Луцицы на 27 см превысила уровень весеннего половодья. Продолжительность зимней межени в среднем составляет около 90 дней». Средняя многолетняя мутность р. Птич, по данным стационарного наблюдательного пункта Кринка (примерно 10 км выше по течению агрогородка «Дараганово»), составляет 4,4 мг/дм³ [3].

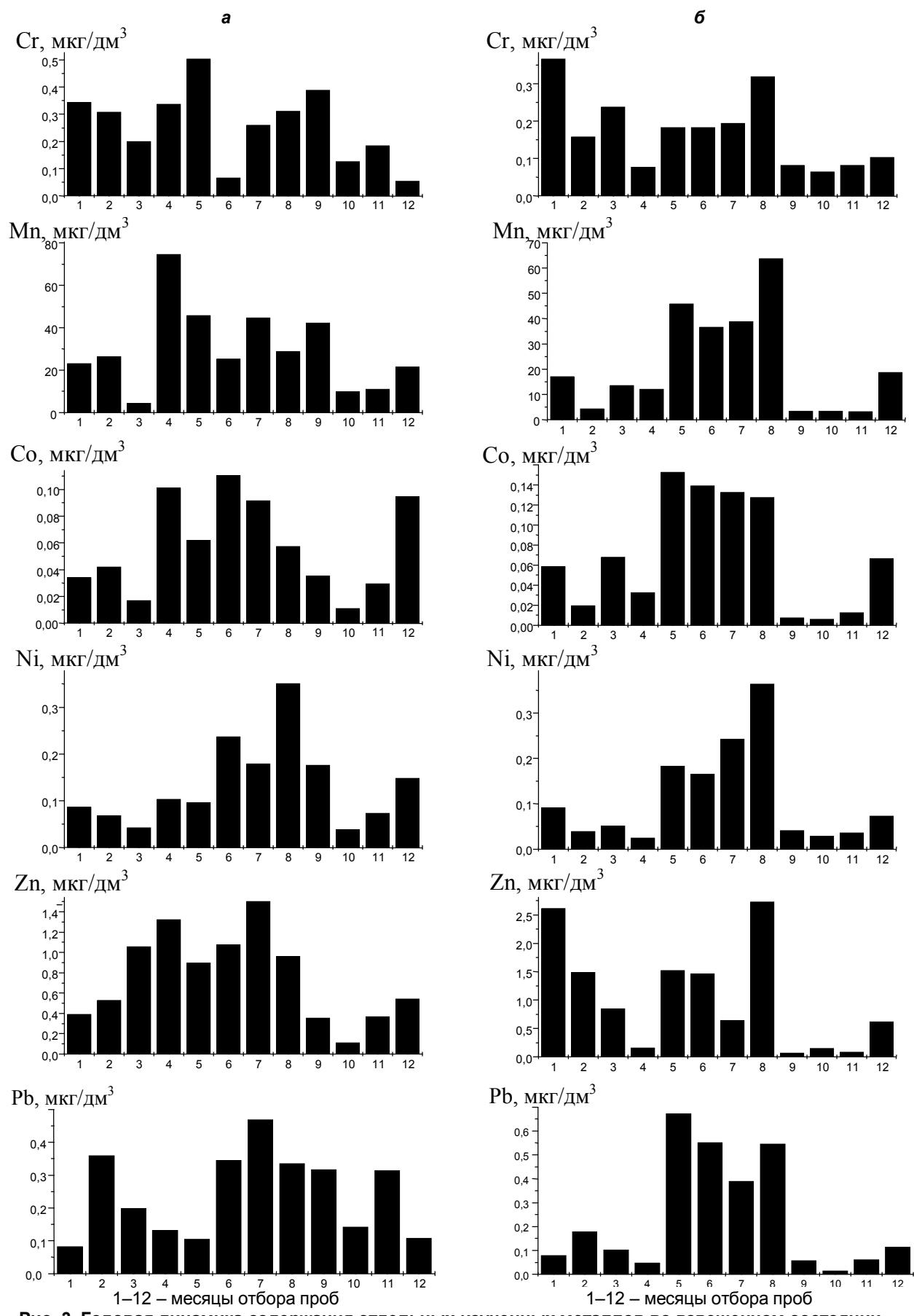


Рис. 3. Годовая динамика содержания отдельных изученных металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птичья (а) и канавы Млынок (б) на стационаре «агрогородок Дараганово», мкг/дм³

С учётом вышесказанного обратимся к данным, представленным на рис. 3. Для р. Птич, половодье на которой в 2009 г. прошло в период со второй половины марта по середину мая, говорить о каком-либо разбавлении взвесей можно гипотетически только применительно к Pb. Все прочие элементы, за исключением Sn, в данный период в большей или меньшей степени подчиняются «водно-эрэзионной» модели (увеличение мутности, сопровождающееся наблюдаемым увеличением содержания микроэлементов во взвешенном состоянии, далее – коррелирующее снижение обоих показателей, например, Be, Ti, V, Cr, Mn, Y и др.). Наиболее ярко соответствие «водно-эрэзионной» модели наблюдается у Zr, элемента тяготеющего к грубым гранулометрическим фракциям речных взвесей [4].

Вместе с тем далее – с июня – «водно-эрэзионная» модель перестаёт соответствовать наблюдаемым фактам: мутность реки падает, а концентрация Be, Ti, V, Cr, Fe и других элементов во взвешенном состоянии возрастает. Содержание Fe, Ni, Cu, Pb в летний период заметно превышает соответствующие показатели периода половодья. По нашему мнению, данное явление объясняется интенсификацией процессов гипергенеза (выветривание и вынос его продуктов) в тёплое время года и формированием поступающих в состав взвесей органо-минеральных металлов содержащих комплексов. В октябре данные факторы теряют своё значение, и концентрации V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Y, Zr, Nb, Yb, Ba, Pb становятся сопоставимыми с таковыми для марта.

В конце осеннего – зимний период наблюдается очередной рост содержания ряда металлов – Be, Cr, Mn, Fe, Co, Ni и других (Sn). Данное явление, по-видимому, связано с очередным изменением гидродинамического режима речного потока в зимнее время.

Совсем другая картина годовой динамики содержания микроэлементов во взвешенном состоянии наблюдается в водах канавы Млынок (рис. 3). При некотором сходстве, выявленном, как указывалось выше, для Ni и Nb, воды дренирующей болотный массив канавы характеризуются принципиально иным характером годового изменения концентраций изученных элементов. В первую очередь обращают на себя внимание отсутствие чётко выраженного влияния фактора половодья (т. е. «водно-эрэзионная» модель в данном случае не действует) и доминирующее значение фактора «тёплое время года (биогенные процессы)» – при этом могут быть выделены случаи с резким повышением концентрации элементов в одном месяце (август: Be, Ti, V, Sr, Y и др.) или в группе следующих друг за другом месяцев (май–август: Mn, Fe, Ni, Co, Pb или июнь–август: Ba). В отдельных случаях наблюдается проявление фактора «зимний гидродинамический режим» (Cr, Zn).

Статистические связи между концентрациями металлов в водах р. Птич и канавы Млынок представлены в табл. 3 и 4 соответственно. Существенное различие данных показывает, что на эти взаимосвязи заметное влияние оказывает преобладающий фактор формирования вод (биолитогенный в случае р. Птич и биогенный в случае канавы Млынок).

Ввиду наличия ряда групп статистически взаимосвязанных элементов, для их общей группировки применялся иерархический кластерный анализ (рис. 4). В качестве меры расстояния использовалась дистанция на основе коэффициента корреляции Спирмена (R). Классификация проводилась различными методами: «ближайшего соседа», «дальнего соседа», «взвешенного попарного среднего», Уорда. «Метод ближайшего соседа» не даёт ясной иерархической структуры. Остальные методы дают сходные классификации при незначительных внутренних перестановках элементов.

Из приведенных дендрограмм следует, что как для р. Птич, так и канавы Млынок характерно наличие трех основных групп элементов, находящихся в составе взвешенного вещества; это, по-видимому, подтверждает наличие различных «сценариев» годового изменения их концентраций.

Выводы. На основе изучения содержания элементов, находящихся во взвешенном состоянии в водах двух сопряжённых водных объектов, сформировавшихся под действием различных преобладающих факторов (биолитогенный, биогенный) в условиях слабо выраженного агротехногенеза, установлено, что при переходе к биолитогенному (р. Птич) фактору формирования речных вод происходит увеличение средней концентрации большинства изученных металлов в 1,4–1,8 раза. Наибольший рост содержания (более 2 раз) отмечен для Ti и Zr. Практически отсутствие роста концентрации установлено для V, Co и Zn (не более 1,2 раз) и её падение – для Sn (в 1,4 раза).

Для интерпретации годового изменения содержания металлов во взвешенном состоянии в речных водах должны использоваться различные сочетания нескольких основных моделей, учитывающих действие важнейших природных факторов в различное время года. Так, для рек с водами биолитогенного фактора формирования это увеличение мутности в весенний период, рост интенсивности процессов выветривания и биогенных процессов в летний период, изменение гидродинамического режима в зимний период; для рек с водами биогенного фактора формирования – рост интенсивности биогенных процессов в летнее время.

Таблица 3. Статистические связи между концентрациями металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птичъ (n = 19)

Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Yb	Ba	Pb	
+0,741*	+0,826	+0,458	+0,666	+0,591	+0,363	+0,223	+0,365	+0,400	+0,727	+0,717	+0,859	+0,686	+0,396	+0,749	+0,518	+0,023	Be
	+0,773	+0,521	+0,513	+0,513	+0,405	+0,357	+0,325	+0,473	+0,647	+0,721	+0,706	+0,778	+0,235	+0,703	+0,436	+0,213	Ti
		+0,679	+0,721	+0,340	+0,274	+0,056	+0,064	+0,214	+0,477	+0,650	+0,727	+0,551	+0,611	+0,647	+0,338	-0,203	V
			+0,436	+0,137	-0,083	-0,142	-0,157	+0,121	+0,101	+0,381	+0,355	+0,245	+0,436	+0,343	+0,213	-0,039	Cr
				+0,360	+0,404	+0,092	+0,163	+0,327	+0,536	+0,527	+0,637	+0,460	-0,132	+0,531	+0,503	-0,121	Mn
					+0,639	+0,761	+0,742	+0,516	+0,704	+0,707	+0,294	+0,769	+0,265	+0,703	+0,462	+0,546	Fe
						+0,647	+0,807	+0,715	+0,730	+0,433	+0,363	+0,580	-0,190	+0,427	+0,462	+0,392	Co
							+0,677	+0,420	+0,556	+0,588	+0,105	+0,720	-0,028	+0,560	+0,259	+0,482	Ni
								+0,636	+0,780	+0,460	+0,297	+0,596	+0,031	+0,459	+0,487	+0,501	Cu
									+0,591	+0,342	+0,396	+0,538	+0,149	+0,335	+0,442	+0,484	Zn
										+0,786	+0,751	+0,866	-0,043	+0,796	+0,795	+0,331	Sr
											+0,698	+0,916	+0,023	+0,995	+0,613	+0,243	Y
												+0,700	+0,207	+0,722	+0,625	-0,131	Zr
													+0,109	+0,906	+0,668	+0,391	Nb
														+0,034	-0,117	-0,125	Sn
														+0,608	+0,207	Yb	
															+0,467	Ba	

*Полужирный шрифт – коэффициенты корреляции, достоверные при $p < 0,0001$; курсив – недостоверные коэффициенты корреляции при $p > 0,05$.

Таблица 4. Статистические связи между концентрациями металлов во взвешенном состоянии в водах канавы Млынок (n = 12)

Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Yb	Ba	Pb	
+0,972*	+0,951	+0,565	+0,756	+0,857	+0,464	+0,824	+0,706	+0,638	+0,963	+0,984	+0,947	+0,966	+0,686	+0,978	+0,666	+0,515	Be
	+0,986	+0,654	+0,698	+0,835	+0,446	+0,783	+0,661	+0,653	+0,943	+0,967	+0,935	+0,951	+0,304	+0,965	+0,701	+0,441	Ti
		+0,669	+0,739	+0,862	+0,525	+0,804	+0,709	+0,637	+0,943	+0,956	+0,933	+0,948	+0,310	+0,957	+0,717	+0,486	V
			+0,566	+0,627	+0,521	+0,587	+0,485	+0,903	+0,574	+0,533	+0,564	+0,548	+0,324	+0,534	+0,494	+0,394	Cr
				+0,913	+0,917	+0,959	+0,967	+0,632	+0,850	+0,777	+0,797	+0,826	+0,254	+0,787	+0,747	+0,895	Mn
					+0,785	+0,905	+0,923	+0,699	+0,928	+0,869	+0,935	+0,885	+0,255	+0,887	+0,750	+0,820	Fe
						+0,823	+0,915	+0,537	+0,631	+0,510	+0,586	+0,587	+0,125	+0,530	+0,669	+0,916	Co
							+0,951	+0,624	+0,912	+0,861	+0,828	+0,901	+0,173	+0,866	+0,829	+0,819	Ni
								+0,546	+0,843	+0,754	+0,791	+0,804	+0,106	+0,772	+0,789	+0,933	Cu
									+0,651	+0,581	+0,653	+0,603	+0,311	+0,588	+0,553	+0,537	Zn
										+0,979	+0,967	+0,990	+0,244	+0,984	+0,831	+0,674	Sr
											+0,953	+0,991	+0,261	+0,998	+0,745	+0,539	Y
												+0,947	+0,278	+0,963	+0,744	+0,635	Zr

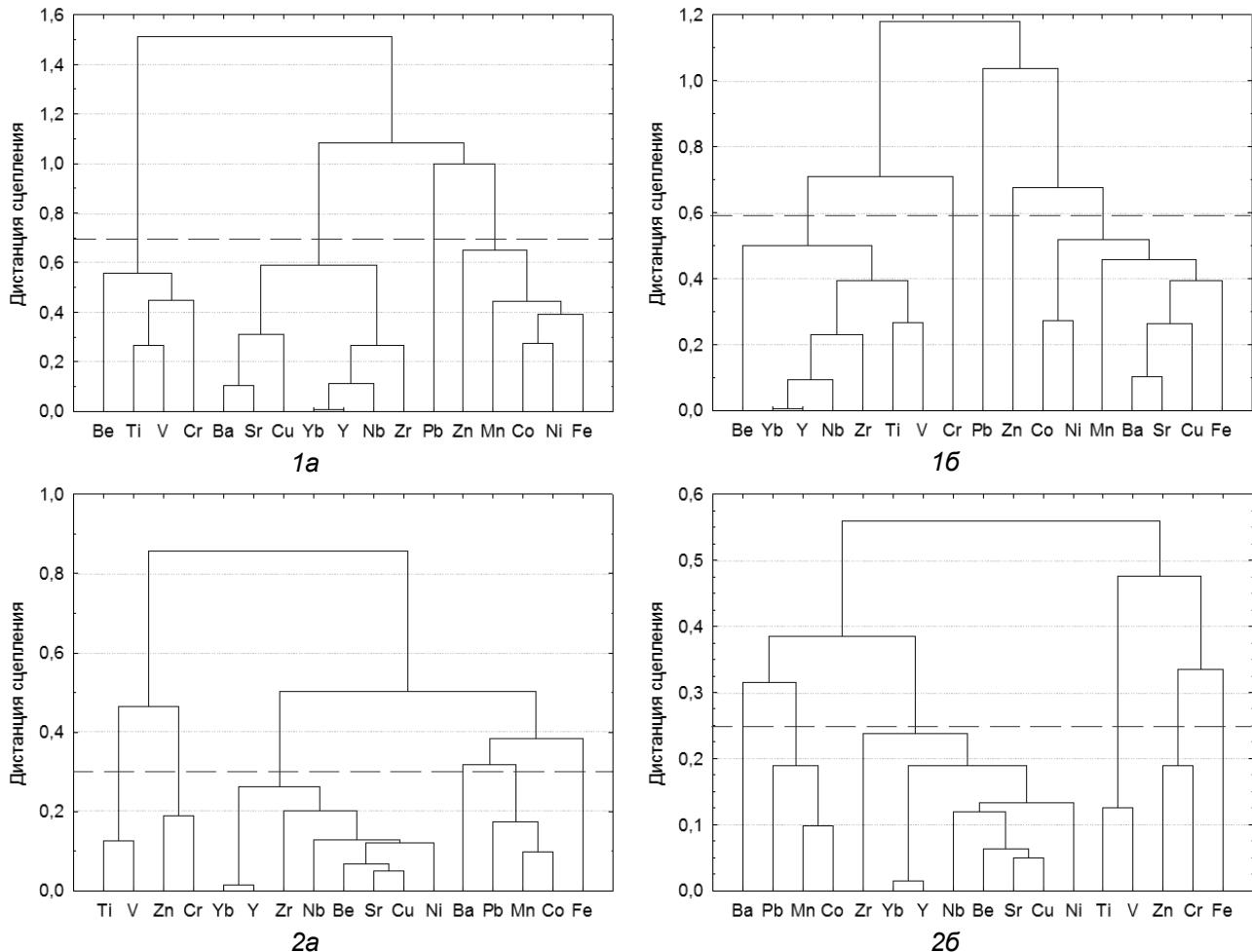


Рис. 4. Дендрограмма классификации микроэлементов, содержащихся в водах р. Птичъ (1) и канавы Млынок (2) во взвешенном состоянии, по методу Уорда (а) и полной связи (б). Дистанция: 1 – R

Установлено существенное влияние преобладающего фактора формирования речных вод на статистические взаимосвязи между концентрациями отдельных элементов-металлов во взвешенном состоянии.

На основе иерархического кластерного анализа подтверждено наличие в водах р. Птичъ и канавы Млынок различных групп элементов, концентрация которых во взвешенном состоянии в течение года изменяется по разным, присущим им «сценариям».

Литература

1. Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашёва. Минск, 1969.
2. Лопатин, Г. В. Наносы рек СССР / Г. В. Лопатин // М., 1952.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Т. 5. Ч. 1 / Под ред. В. В. Куприянова. Л., 1971.
4. Химия океана : в 2 т. М., 1979. Т. 2. С. 14.
5. Шебеко, В. Ф. Гидрология речных водосборов / В. Ф. Шебеко // Проблемы Полесья. Минск, 1972. Вып. 1. С. 146–173.

Белорусский государственный университет,
Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 20.03.2012

**О. В. Лукашёв, Д. Л. Творонович-Севрук, Н. Г. Лукашёва,
Н. В. Жуковская, С. В. Савченко**

ПЕРЕНОС МЕТАЛЛОВ СО ВЗВЕШЕННЫМ ВЕЩЕСТВОМ В ВОДАХ РЕКИ ПТИЧЬ

Изучение закономерностей переноса элементов-металлов в составе взвешенного стока в агротехногенных условиях проводилось в 2009-2010 гг. на геохимическом стационаре, расположенным на границе верхнего и нижнего течения р. Птич в пределах агрогородка «Дарганово» Осиповичского р-на Могилевской обл.

На основе изучения содержания элементов во взвешенном состоянии в водах двух сопряжённых водных объектов, сформировавшихся под действием различных преобладающих факторов (биолитогенного и биогенного) в условиях слабо выраженного агротехногенеза, установлено, что при переходе к биолитогенному (р. Птич) фактору формирования речных вод происходит увеличение средней концентрации большинства изученных металлов в 1,4–1,8 раза. Наибольший рост содержания (более 2 раз) отмечен для Ti и Zr. Практически отсутствует рост концентрации для V, Co и Zn (не более 1,2 раза), падение концентрации отмечено для Sn (в 1,4 раза).

Для интерпретации годового изменения содержания металлов во взвешенном состоянии в речных водах целесообразно использовать различные сочетания нескольких основных моделей, учитывающих действие преобладающих природных факторов в различное время года. Так, для рек с водами биолитогенного фактора формирования это увеличение мутности в весенний период, рост интенсивности процессов выветривания и биогенных процессов – в летний период, изменение гидродинамического режима в зимний период. Для рек с водами биогенного фактора формирования – рост интенсивности биогенных процессов в летнее время.

На основе иерархического кластерного анализа подтверждено наличие в водах р. Птич и канавы Млынок различных групп элементов, концентрация которых во взвешенном состоянии в течение года изменяется по разным, присущим им «сценариям».

**O. V. Lukashyov, D. L. Tvoronovich-Sevruk, N. G. Lukashyova,
N. V. Zhukovskaya, S. V. Savchenko**

THE METALS TRANSFER WITH THE SUSPENSION IN RIVER PTICH WATER

Studying of laws of elements-metals transfer as a part of the weighed drain in agrotechnogenic conditions was done in 2009-2010 on the geochemical stationary located on the border of the top and lower current of river Ptich within agro-town «Darganovo» of Osipovichy district, Mogilyov region.

On the basis of studying of the elements content in a suspension in waters of two interfaced water objects, formed under the influence of various prevailing factors (bio-lithogenic and biogenic) in the conditions of weekly expressed agro-techno-genesis, it has been found that during the transition to bio-lithogenic (river Ptich) factor of the formation of river water there is a 1,4–1,8 fold increase in average concentration of the majority of the studied metals. The greatest rise of the content (more than 2 fold) is noted for Ti and Zr. Practically there is no rise of concentration for V, Co and Zn (no more than 1,2 fold), the concentration fall is noted for Sn (1,4 fold).

For interpretation of annual change of the metals content in a suspension in a river water it is expedient to use various combinations of the several basic models considering action of prevailing natural factors in a various season. So, for the rivers of bio-lithogenic water formation factor there is an increase of turbidity in spring, growth of intensity of processes of aeration and biogenic processes in summer, change of hydrodynamic mode in winter. For the rivers with waters of the biogenic factor of the formation – a rise of intensity of biogenic processes in summer.

On the basis of hierarchical cluster analysis, the presence in water of river Ptich and ditch Mlynok of various groups of elements which concentration in a suspension within a year changes on a miscellaneous inherent to them «scenarios» is confirmed.

УДК 550.42 (476)

А. В. Матвеев, В. Е. Бордон, Л. А. Нечипоренко

ОСНОВНЫЕ АССОЦИАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛАРУСИ

По наибольшим коэффициентам концентрации и частоте встречаемости микроэлементов в четвертичной толще выделены и показаны территориальное распространение халькосидерофильной, литохалькофильной, литофильной ведущих ассоциаций и площади с повышенным содержанием отдельных элементов. Установлено, что эти геохимические особенности четвертичных отложений преимущественно предопределены процессами ледникового литогенеза, составом подстилающих пород и сносом материала с Украинского кристаллического щита.

При геохимическом картировании отложений различного генезиса и возраста широко используется принцип выделения геохимических ассоциаций – характерных для изучаемых геологических объектов комплексов элементов. Подобные комплексы дают важную информацию о накоплении и рассеивании элементов, генезисе отложений, процессах постседиментационного преобразования, источниках поступления материала, позволяют прогнозировать повышенные концентрации элементов, которые могут иметь практический интерес как в связи с поисками полезных ископаемых, так и с экологических позиций.

Учитывая сказанное, проведены исследования по выявлению важнейших ассоциаций микроэлементов в толще четвертичных отложений. Подобные работы в Беларуси ранее не проводились, хотя по проблемам геохимии верхней части платформенного чехла известны многочисленные публикации [6–9, 11, 14]. Однако в этих работах в основном анализируются геохимические особенности отдельных генетических типов отложений, почв, ландшафтов, а четвертичная толща в целом практически не рассматривается. До сих пор не опубликовано ни одной достаточно подробной геохимической карты четвертичного чехла. Одним из этапов подготовки такой карты как раз является выделение ведущих геохимических ассоциаций. Сложность подобной работы связана с тем, что строение четвертичных отложений является чрезвычайно сложным, их состав заметно изменяется как по площади, так и по вертикали, распределение генетических типов и фаций отличается чрезвычайной пестротой. Поэтому для характеристики толщи в целом было выполнено районирование территории региона по характерным типам разреза. При этом использовались следующие признаки: мощности отложений в целом и отдельных

слоев, особенности их состава, площади распространения основных типов отложений и их доля в общем объеме четвертичной толщи, характер строения ложа (поверхности коренных пород) и кровли (рельефа земной поверхности) отложений, состав пород ложа, полнота стратиграфического разреза. По этим признакам выделено 45 литогеохимических полей (рис. 1), отвечающие типам (21) разрезов и подтипам (от 1 до 3 в каждом типе в зависимости от состава подстилающих четвертичную толщу пород).

Составленные типовые разрезы являются в значительной степени «условными», так как не отражают строение какого-либо конкретного участка, а служат усредненной характеристикой. В связи с этим некоторые горизонты или типы отложений, которые имеют ограниченное распространение и на которые приходится не более нескольких процентов от общего объема толщи, не нашли отражения в составленных разрезах. Это обусловлено тем, что геохимические особенности таких отложений не влияют на средневзвешенную характеристику четвертичного чехла.

Всего для геохимической характеристики четвертичной толщи использовались количественные, полукачественные и приближенные количественные спектральные анализы, источником которых послужили опубликованная литература, собственные материалы авторов, полученные при выполнении различных программ и проектов фундаментальных и ориентированных фундаментальных исследований, фонды РУП «Белгеология», созданный в свое время (2000 г.) в Институте геохимии и геофизики НАН Беларуси банк геохимической информации, любезно предоставленные авторам материалы С. Д. Астаповой, Н. Н. Петуховой и др. Всем коллегам, которые помогли авторам в сборе материала по геохимии четвертичных отложений, выражается искренняя признательность.

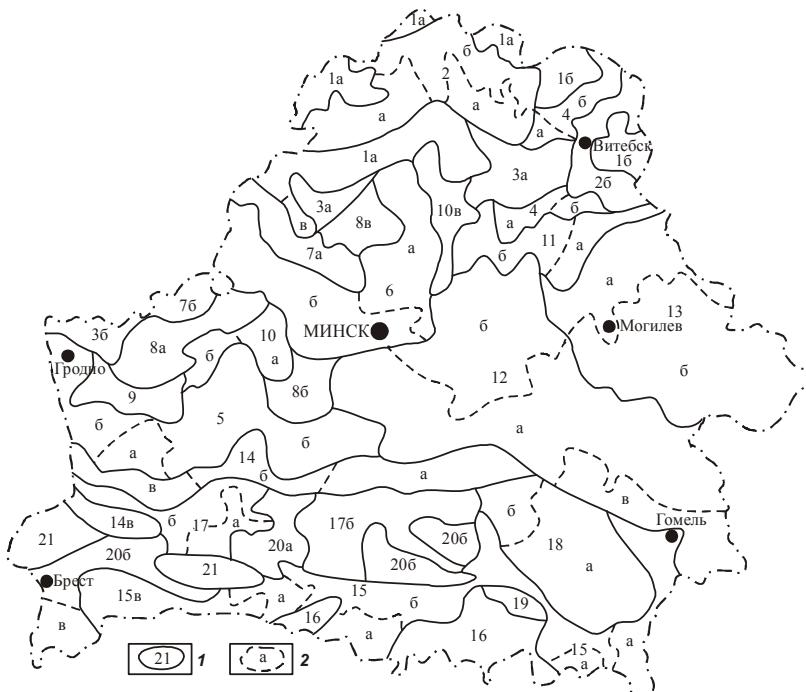


Рис. 1. Районирование территории Беларуси по типам геологического разреза четвертичных отложений: границы распространения и номера литогеохимических типов (1) и подтипов (2) по [10]

Из всех перечисленных источников при подготовке статьи систематизированы около 1000 спектральных анализов, которые выполнены в основном в лабораториях бывшего Института геохимии и геофизики НАН Беларуси и Центральной лаборатории РУП «Белгеология». Они были использованы для расчета фоновых концентраций элементов в выделенных литогеохимических полях, в каждом из которых обобщались данные не менее чем по 3–15 (до 30–40) значениям концентраций отдельных элементов для каждого генетического типа отложений. Чаще всего эти значения являлись результатом обобщения реальных анализов и только иногда (в связи с разной детальностью аналитических работ) использовался принцип интерполяции данных. Рассчитанные таким образом фоновые содержания (табл. 1) являются средневзвешенными величинами в соответствии с распределением в типовых разрезах генетических типов отложений.

Выделение геохимических ассоциаций элементов осуществлялось по методике А. А. Смыслова, разработанной во ВСЕГЕИ [12, 13]. Суть ее заключается в определении реального содержания элементов в однородном геохимическом поле, их классификации, подсчете коэффициентов концентрации каждого элемента относительно кларка литосферы. Элементы, попадающие в классификации в одну группу, составляют единую ассоциацию. Классификация элементов проводилась в соответствии со схемой В. М. Гольдшмидта [5]. Реально изученные нами элементы распределяются таким образом:

литофильтные: Li, B, Ti, V, Cr, Mn, Sr, Y, Zr, Nb, Sc, Ba, P, W, Be, Yb, La;

халькофильтные: Cu, Zn, Ga, Ge, Sn, Pb, Cd, Bi, Sb, Ag, Ce;

сидерофильтные: Co, Ni, Mo;

литохалькофильтные: Ga, Sn Pb, Ag, Ba, Sr;

литосидерофильтные: Co, Ni, Cr, V, Mn, Ti, Zr.

Учитывая региональный характер настоящей работы, мы определили средние содержания элементов в литогеохимических полях, а коэффициенты концентрации подсчитывали относительно кларков этих элементов в четвертичной толще Беларуси. Выявление ведущих геохимических ассоциаций проводилось по элементам, которые встречались в большинстве проб и имели наибольшие коэффициенты концентрации (чаще всего 1,1–1,4). Полученные результаты представлены в табл. 2.

Для изучения пространственной дифференциации установленных основных ассоциаций микроэлементов построена специальная карта (рис. 2). Судя по этой карте, халькосидерофильтная ассоциация характерна для четвертичных отложений крайней северной части Беларуси, литохалькофильтная преобладает на территории Белорусского Поозерья и центральной части Белорусского Полесья, литофильтная – в центральной части региона, где также на значительных площадях в четвертичных отложениях не выявлены ведущие ассоциации либо установлена только повышенная концентрация отдельных элементов.

Таблица 1. Фоновые содержания элементов в четвертичных отложениях литогеохимических полей (г/т)

Лито-геохимические поля	Ni	Co	V	Mn	Ti	Cr	Pb	Mo	W	Zr	Nb	Cu	Ag	Zn	Ge
1а	17,1	12,8	28,5	481,6	3047,7	38,9	13	1,1	3	150	8,3	11,4	1	52	1
1б	15	11,5	41,7	750	3666,6	—	10,3	1	3	140	7,5	10,7	1	30	1
1в	10	6	30,5	350	2150	10	6	1	1	40	1	12,1	1	10	1
2а	19,5	15,6	44,5	486,9	3478	79	15,6	1,1	3	150,5	9,5	12,4	1	69,5	1,2
2б	10,3	7,6	69,2	1030	4257	215,4	21	1,3	—	194,8	7,1	12,2	1	66,7	1
3а	3,2	10	6,4	116,9	527,8	1,4	10	1	—	25,1	6	1,2	1	—	—
3б	2,5	10	5,1	100	200	1	8	1	—	10	1	1	1	—	—
4а	12,7	10,1	38,6	776	3520	—	10,4	1	3	140	5,1	9	11	31,7	1
4б	8,1	9,3	54,7	1115,6	4343,8	—	23,1	1,1	—	275	8,1	9,2	1	71	1
5а	3,5	2,2	22	148,9	2109	29,4	8,0	1	1	300	1	11,2	1	25	1
5б	12,2	5,2	38,9	334,1	2456	40,5	10	1	3	292,1	4,4	13,8	1	30,6	1
6а	15,3	6,7	37	391	2349,7	31,4	10,7	1	5,25	256	3,3	10,2	—	30	—
6б	12,6	6,1	26,5	252,9	1770,6	28,3	10,4	1	3	326,7	3,9	31,5	1	36,2	1
7а	11	4,2	27,8	281,9	2383,8	28,6	—	—	—	256,7	3,9	14,1	1	30	1
7б	11	4,2	27,9	281,9	2383,8	28,6	—	—	—	256,7	3,9	14,1	1	30	1
8а	7	2,4	28,9	202,4	1543,5	42,2	9,45	1,05	—	105	3,9	14,1	1	30	1
8б	13,1	5,4	46,2	427	2547,1	35,2	—	1	—	286,8	3,9	19,3	1	30	1
8в	1	3	2,9	26,1	190	3	9,45	1,05	—	105	3,9	1,7	1	30	1
9	9,1	3,2	26,7	169,3	1268,6	31,3	10	1	3	142,5	3,5	17,1	1	30	—
10а	11,4	5,1	26	194	1378,6	27,6	9,2	1	3	227,7	4,1	36,3	1	30	1
10б	10,8	10,4	27,1	650	3187,5	—	9,25	1,1	—	116,8	4,8	8,5	—	30	—
10в	9,5	2,7	18,8	711,9	2619	—	9,7	1	3	61,2	3,4	7,7	—	30	1
11а	11,4	14,6	50	634	3033,3	31	16,6	1	3	128,8	6,4	15,1	1,7	32	1
11б	8,6	1,4	21,3	575	2685	—	12,1	1	—	70,5	3,2	8,2	—	35	—
12а	9,3	8,7	26,3	420	2534,1	31,4	15,2	1,1	3	158,2	4,1	13,4	1	23,1	1,2
12б	14,3	6,6	39,4	481,3	2347	29	9,1	1,1	—	202,4	3,6	9,7	1	30	1
12в	10	10	19,2	260,3	2071,6	15,7	17,4	1	3	117,4	4,8	8,6	1	21,2	1
13а	10,1	5,9	38	403,5	2320,2	20,5	36,5	1	3	248,1	4,4	8,3	1	50	1
13б	7,3	11,6	23,4	454,8	1831,6	1,2	8,6	1	3	78,2	4,2	6,4	1	30,9	1
14а	15,3	7,4	31,1	497,2	2346,9	34,6	10,8	1	3	210,9	5,9	9,9	1	37,8	—
14б	10,4	3,6	28,1	286,9	2132	57,3	9,4	1	—	309,3	4,3	14,4	1	27,9	1
14в	6,5	2,6	22,8	492,8	2660,9	—	17,3	1,4	—	139,6	8,2	7,5	1	4,2	1
15а	10,8	11,8	22,8	286,8	1721,7	21,9	22,5	1	3	155,6	3,1	23,9	1	19,3	—
15б	5,8	1,6	22	81	651,3	12,9	12	—	—	133	—	8	—	18,1	—
15в	10,8	11,8	22,8	286,8	1721,7	21,9	22,5	1	3	155,6	3,1	23,9	1	19,3	—

Окончание табл. 1

Лито-геохимические поля	La	Yb	Y	Bi	Be	Ga	Sc	Sn	Ce	Cd	P	Sr	Ba	Li	B
1а	30	3,8	16,4	1	3	26	10,2	1,8	300	10	383	100,6	111,7	12,6	18,5
1б	30	—	10,8	1	—	5,3	—	2,8	—	—	550	100	100	10	34,2
1в	5	—	5	—	—	1	—	—	—	—	50	300	150	10	30
2а	29	3	14,3	1	3	28,9	10,4	2,6	300	10	654,3	100	167,5	13,1	24,6
2б	—	2	—	1	—	15,1	10	4,9	—	—	1879,6	94,4	600	10	29,4
3а	—	2	10	—	—	5	—	2	—	—	300	100	25	10	20
3б	—	2	10	—	—	1	—	2	—	—	300	200	25	10	20
4а	30	2	10,2	1	—	4,4	—	3	—	—	744	100	100	10	38
4б	30	2,2	17,8	1	—	15,3	10	5,2	—	—	1240,6	100	—	10	19,7
5а	—	3	5	1	—	5	10	2,7	8	—	400	150	250	—	25
5б	—	3,3	10,1	1	1	5,8	10	2,7	10	—	432,8	152,7	233,8	10	27,4
6а	—	2,7	11,1	1	1	6,9	10	2,2	—	—	290,6	116,7	277,1	10	20
6б	30	2,1	11,4	1	1	8,8	10	2,3	—	—	447,4	102,1	207,9	10	14,9
7а	—	2,9	10,4	1	—	5,2	10	3,2	—	—	645	103,8	100	10	22,4
7б	—	3	10,4	1	—	5,2	10	3,2	—	—	645	103,8	100	10	22,4
8а	—	2,95	10,4	1	—	5,2	10	3,2	—	—	645	103,8	100	10	22,4
8б	—	2,95	10,4	1	—	5,2	10	3,2	—	—	645	100,8	100	10	17
8в	—	2,95	10,4	1	—	5,15	10	3,2	—	—	645	103,8	100	10	22,4
9	—	3,8	10	1	—	6	—	2,2	—	—	400	125	100	10	27,5
10а	—	3,8	10	1	—	6	—	2,6	—	—	602	110	100	10	27
10б	—	3,8	10	1	—	5,8	—	3,1	—	—	1156,2	100	100	10	27,5
10в	—	2,7	10	1	—	4,7	—	2,4	—	—	595,2	100	100	10	18,2
11а	30	2,8	18,8	1	0,3	15,8	10	2,3	300	—	540	100	96,5	10	34
11б	—	3,3	11,2	1	—	4,9	—	2,5	—	—	355	100	100	10	18,8
12а	30	2,1	11,8	1	3	11	10	2	—	3,4	361,6	113,2	123,7	10,2	15,5
12б	30	2,2	11,9	1	—	5,6	10	2,6	—	—	375,7	111	100	10	19,9
12в	30	2,3	12,8	1	—	18,8	10	1,2	—	3,8	411,1	100	102,4	10,1	9,5
13а	30	2,5	16,1	1	—	14,5	10	5,8	300	—	1130	100	100	10	29
13б	—	2,2	10,8	1	—	8,4	10	2,3	—	—	325,8	100	113,9	10	17,8
14а	—	1,6	10	1	—	8,8	2	—	—	—	389,4	100	200	10	13,2
14б	—	1,2	10	1	—	4,6	9,8	3,2	—	—	304	100	108,4	10	12,5
14в	—	1,1	10,2	1	—	10,1	10	3,5	—	—	1479	100	—	10	9,4
15а	—	2,3	10	1	—	5,4	10	4,4	—	4,2	505,2	163,4	160,9	10	13
15б	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	—	—	394	—	—
15в	—	2,3	10	1	—	5,4	10	4,4	—	4,2	505,2	103,4	160,9	10	13

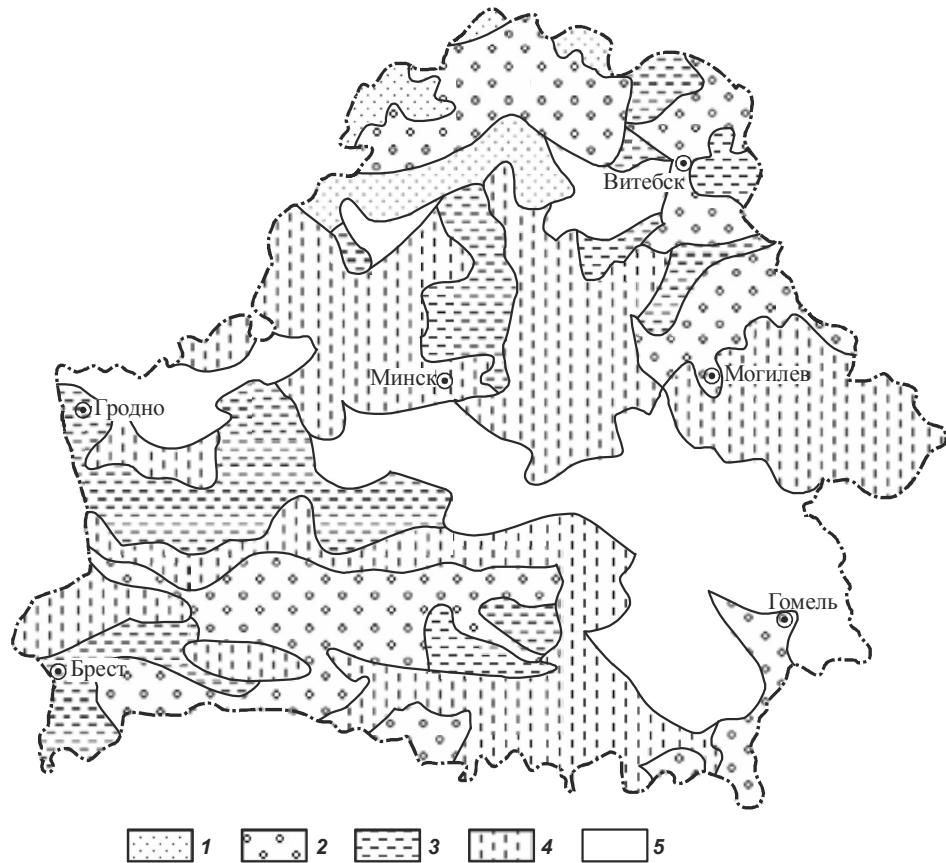


Рис. 2. Ведущие ассоциации элементов в четвертичных отложениях Беларуси:
1 – халькосидерофильная (Zn , Ga , Cd , Ni , Co); 2 – литохалькофильная (преобладают V , Ti , Ba , Zn , P , Pb , Sn); 3 – литофильная (преобладают Mn , Ti , B , Ba , Sr); 4 – повышенные концентрации отдельных элементов (преобладают Sr ; Ba ; Mn , Sn ; Zr ; B ; V); 5 – не выявлены

Отмеченная территориальная локализация основных геохимических ассоциаций несомненно связана с особенностями накопления ледниковых отложений, в формировании которых участвовал как дальнеприносной, так и местный материал. В связи с этим вполне допустимо предположение, что геохимические особенности четвертичных отложений частично являются унаследованными от состава подстилающих пород. Это является чрезвычайно интересным, так как позволяет по геохимическим аномалиям в четвертичной толще прогнозировать высокие содержания тех или иных элементов в коренных породах. Для исследования возможной унаследованности выделенных основных геохимических ассоциаций и некоторых других геохимических особенностей четвертичной толщи проведено сопоставление полученных геохимических данных с «Геохімічнай картай дачацвярцічных адкладаў. М 1:4 000 000» [1]. Это сопоставление показало, что выделенная в пределах Белорусского Поозерья халькосидерофильная ассоциация в общих чертах соответствует сидерофильной ассоциации карбонатной и глинисто-карбонатной формаций верхне- и среднедевонских пород. Литохалькофильная ассоциация от-

ложений на территории северной Беларуси коррелируется с площадями распространения литофильной и халькофильной ассоциаций песчано-глинистой формаций среднего девона, а литохалькофильная ассоциация четвертичных отложений Белорусского Полесья примерно отвечает литофильной и халькофильной ассоциациям песчано-глинистой и угленосной формации палеоген-неогеновых пород. И, наконец, значительные площади четвертичной толщи в центральной Беларуси, в которых не выделены ведущие ассоциации элементов, близки по очертаниям к контурам верхнемеловых пород также с неустановленными ассоциациями элементов.

Кроме того, выделенные в четвертичной толще повышенные концентрации элементов со-поставлялись с их содержаниями, показанными на геохимических картах дочетвертичных [1], домезозойских [2] и додевонских [3] отложений, а также на карте «Крышталічны фундамент. М 1:3 000 000» [4]. В связи с тем, что на перечисленных мелкомасштабных картах геохимическая информация представлена в обобщенном виде и по небольшому количеству элементов, выполненные сопоставления носят самый общий характер, но тем не менее они могут служить осно-

ванием для выводов об унаследованном или новообразованном характере геохимических аномалий в четвертичной толще. Основные результаты проведенного анализа сводятся к следующему.

Очень проблематична корреляция аномалии в четвертичных отложениях и породах фундамента. Относительно достоверно установлено только соответствие повышенных содержаний Си в покровных отложениях и породах фундамента в районе г. Лида, а также Со, Си, Рb и Sn – в четвертичной толще и породах фундамента в юго-восточной и южной Беларуси.

Более достоверно сопоставляются некоторые четвертичные геохимические аномалии с данными, приведенными на геохимической карте додевонских отложений. В частности, установлены соответствующие аномалии Со и Рb в четвертичных и ордовикских, силурийских и вендских отложениях в крайней юго-западной части Беларуси; Со – в четвертичных и ордовикско-силурийских отложениях западнее и запад-юго-западнее г. Новополоцка; Со, Сг, В, а также V, Со и Ni – в четвертичных и вендских отложениях в северной Беларуси. Выявлены также корреляции Со, Сг, V и В в покровных четвертичных отложениях и рифейских, вендских и силурийских породах на крайнем юге нашего региона; В, Со, Си – в покровных четвертичных и вендских отложениях западнее Минска; Со, Ni, V – в покровных четвертичных и вендских, ордовикских, силурийских отложениях в северной Беларуси; В, Со, Рb – в покровных четвертичных и вендских отложениях на востоке Беларуси.

Установлена приуроченность повышенных содержаний отдельных элементов в четвертичных отложениях и подстилающих их породах. Например, аномальные концентрации в четвертичном покрове Рb, Си в крайней южной части Беларуси отвечают геохимическим особенностям угленосной формации палеоген-неогенового возраста, аномалии Р на востоке региона (восточнее Могилева) сопоставляются с повышенными содержаниями этого элемента в карбонатной формации позднемелового возраста; аномалии Zn, Рb в северо-восточной Беларуси подобны аналогичным аномалиям в песчано-глинистой формации среднедевонского возраста. Повышенные концентрации в покровных отложениях Си, Рb вполне коррелируют с концентрациями этих элементов в среднедевонских породах в северной и северо-восточной частях региона и палеоген-неогеновых породах на территории Белорусского Полесья.

Таким образом, даже учитывая относительно разрозненные данные по коренным породам, можно констатировать, что геохимические особенности четвертичной толщи в определен-

ной степени являются унаследованными от состава подстилающих пород. В тоже время следует отметить, что формирование четвертичной толщи преимущественно в процессе неоднократных вторжений ледниковых покровов обусловило некоторое смещение в дистальном направлении аномалий и геохимических ассоциаций элементов в четвертичной толще и подстилающих породах. К тому же за счет приноса ледниками обломочного материала из центров оледенения и территорий, по которым двигались ледниковые покровы, в четвертичных отложениях сформировались и новообразованные аномалии (Ni, Cr, Mn, Ti, Sr, Со и др.). Этому же способствовал и снос материала с Украинского кристаллического щита.

Выводы

Для выделения ведущих геохимических ассоциаций четвертичной толщи Беларуси проведено районирование территории региона по характерным типам разреза этих отложений, что позволило выделить 45 относительно однородных литогеохимических полей.

Для каждого литогеохимического поля по данным спектрального анализа рассчитаны средневзвешенные значения концентраций элементов с учетом соотношения в разрезе генетических типов четвертичных отложений. По наибольшим коэффициентам концентрации и частоте встречаемости элементов выделены следующие ведущие геохимические ассоциации: халькосидерофильная, литохалькофильная, литофильная. По части литогеохимических полей ведущие ассоциации не были установлены либо же были выделены только характерные отдельные элементы.

Установлены особенности территориального распределения основных геохимических ассоциаций: халькосидерофильная характерна для четвертичных отложений северной Беларуси, литохалькофильная – северной и центральной части Белорусского Полесья, литофильная – центральной части региона, где также на значительных площадях не выявлены ведущие ассоциации.

Выявленные геохимические особенности четвертичной толщи в определенной степени являются унаследованными от состава подстилающих пород. Кроме того, на формирование этих особенностей повлияли процессы ледникового переноса материала (в том числе и из центров оледенения), а также снос с Украинского кристаллического щита.

Исследования выполнены при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проекты № X10–022 и № X11K–069).

Література

1. Аношка, Я. І. Геахімічна карта дачацвярцічных адкладаў. М 1:4 000 000 / Я. І. Аношка [і інш.]. // Нац. атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 55.
2. Аношка, Я. І. Геахімічна карта дамезазойскіх адкладаў. М 1:4 000 000 / Я. І. Аношка, У. Я. Бардон // Нац. атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 55.
3. Бардон, У. Я. Геахімічна карта дадэвонскіх адкладаў / У. Я. Бардон. М 1:4 000 000 // Нац. атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 55.
4. Булкін, Ю. С. Крышталічны фундамент. М 1:3 000 000 // Нац. атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 59.
5. Войткевич, Г. В. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич [и др.]. М., 1970.
6. Геохимия четвертичных отложений Беларуси : материалы междунар. науч. конф. Минск, 2011.
7. Кузнецов, В. А. Геохимия аллювиального литогенеза / В. А. Кузнецов. Минск, 1973.
8. Лукашев, В. К. Геохимия четвертичного литогенеза / В. К. Лукашев. Минск, 1970.
9. Лукашев, К. И. Геохимические особенности моренного литогенеза / К. И. Лукашев, С. Д. Астапова. Минск, 1971.
10. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по типам разрезов четвертичных отложений / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, В. Е. Бордон // Літасфера. 2002. № 2 (17). С. 13–26.
11. Петухова, Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н. Н. Петухова. Минск, 1987.
12. Скублов, Г. Т. Принципы составления полигементных геохимических карт / Г. Т. Скублов. Л., 1983.
13. Смыслов, А. А. Геохимические эпохи и провинции и их металлогеническая специализация / А. А. Смыслов // Труды ВСЕГЕИ. 1975. Т. 241. С. 5–18.
14. Современные проблемы геохимии : материалы респ. конф. Минск, 2002.

Інститут природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 02.02.2012

A. V. Matveev, V. E. Bordon, L. A. Nechiporenko

ОСНОВНЫЕ АССОЦИАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛАРУСИ

По особенностям строения четвертичной толщи проведено районирование территории региона с выделением 45 литогеохимических полей. Для каждого поля рассчитаны средневзвешенные фоновые содержания 30 элементов. По наибольшим коэффициентам концентрации и частоте встречаемости элементов выделены халькосидерофильная, литохалькофильная, литофильная ведущие ассоциации, площади с повышенными концентрациями отдельных элементов. Халькосидерофильная ассоциация характерна для отложений Белорусского Поозерья, литохалькофильная – северной и центральной частей Полесья, литофильная – центральной части региона, где также на значительных площадях не выявлены ведущие ассоциации. Установлено, что геохимические особенности четвертичных отложений являются частично унаследованными от состава подстилающих пород, в основном формировались в процессе ледникового литогенеза и сноса материала с Украинского кристаллического щита.

A. V. Matveev, V. E. Bordon, L. A. Nechiporenko

THE BASIC ASSOCIATIONS OF MICROCELLS IN QUATERNARY DEPOSITS OF BELARUS

Regarding the features of the structure of quaternary thicknesses the division into districts of the territory of region with marking 45 lithogegeochemical fields was done. For each field the average background contents of 30 elements were calculated. Considering the greatest factors of concentration and frequency of occurrence of elements the leading associations – chalcociderophile, lithochalcophile, lithophile were marked, the areas of raised concentration of separate elements. The chalcociderophile association is characteristic for Belarus Poozyotye deposits, lithochalcophile – for northern and central parts of the Polesye, lithophile – for central part of the region where also leading associations on the considerable areas were not revealed. It has been found, that geochemical features of the quaternary deposits are partially inherited from the structure of bedding rocks, were basically formed in the course of glacial lithogenesis and drift of the material from the Ukrainian crystal shield.

М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА)

Рассматриваются морфологические и физико-химические особенности почв в зоне воздействия лакокрасочного производства. Показано строение почвенного профиля на территории промышленного предприятия и в зоне его воздействия. Приведены данные о кислотности и уровнях содержания органического вещества в техногенно-измененных почвах.

Почва, являясь депонирующим компонентом ко многим загрязняющим веществам, отражает кумулятивный эффект от воздействия разнообразных источников загрязнения на урбанизированных территориях. Благодаря биогеохимическим свойствам и активной поверхности тонкодисперсной части почвы превращаются в «депо» токсических соединений и одновременно становятся одним из важнейших биогеохимических барьеров для большинства соединений на пути их миграции [16]. Их формирование в городах в значительной степени обусловлено антропогенной составляющей, о чем свидетельствуют результаты исследований городских почв [9, 12, 18, 19, 21] и почв в зонах интенсивного техногенного воздействия (в районах добычи полезных ископаемых [1, 3, 14], зонах влияния предприятий металлургического профиля и территорий, испытывающих влияние отходов промышленных предприятий цветной металлургии и машиностроения [2, 13, 17]). В результате интенсивной антропогенной деятельности меняются как морфологические характеристики, так и физико-химические свойства почв.

Почвы в зонах воздействия лакокрасочных производств являются малоисследованными. В то же время данная проблема представляет определенный интерес с точки зрения выявления особенностей трансформации почв с целью дальнейшего установления путей и механизмов поступления и распространения в них загрязняющих веществ, специфичных для данного вида производства. В ходе более ранних исследований [6, 8] было установлено, что предприятия данного профиля являются источником поступления в окружающую среду, в том числе почвы и биотические компоненты, различных групп загрязняющих веществ (тяжелых металлов, полихлорированных бифенилов), используемых при производстве лакокрасочной продукции в составе сырья. Согласно [5], лакокрасочное производство является источником поступления в окружающую среду различных групп летучих соединений.

В работах зарубежных авторов освещены вопросы, связанные с загрязнением почв и растительности тяжелыми металлами, в том числе

от лакокрасочной продукции и отходов лакокрасочного производства [22–25], однако проблемы трансформации почв, особенностей их загрязнения в результате воздействия непосредственно лакокрасочного производства практически не затрагиваются.

В настоящей работе предпринята попытка охарактеризовать особенности изменения свойств почв в зоне воздействия лакокрасочного производства по сравнению с природными территориями. С учетом того, что предприятия по производству лакокрасочных материалов зачастую размещаются в пределах городской черты и оказывают непосредственное воздействие на состояние городских почв, исследования в данной области приобретают особую актуальность.

В качестве объекта исследований выбрано предприятие по производству лакокрасочных материалов, расположенное в Лиде – городе областного подчинения с населением 96 тыс. человек. Предприятие расположено на левом берегу р. Лиды и находится примерно в 1 км от Лидского водохранилища. Местоположение предприятия обуславливает направленность поверхностного стока к реке.

В пределах промплощадки абсолютные высоты находятся в пределах 146,4–157,8 м. Значительные перепады высот в пределах промплощадки (11,4 м) обусловили необходимость планировки поверхности в ходе строительных работ. В настоящее время территория промплощадки террасирована.

В ходе полевых работ использовался метод почвенно-геохимической съемки. На основании анализа топографической карты, а также предварительного маршрутного обследования территории были выбраны репрезентативные участки для заложения опорных почвенных шурfov и прикопок. Учитывались характер использования территории, визуально диагностируемые признаки нарушения почв, состояние растительности, наличие надземных и подземных коммуникаций. В качестве фоновой территории рассматривался лесной массив, практически примыкающий к предприятию с северной стороны.

Всего в ходе полевых работ заложено 6 шурfov и 13 прикопок. При описании строения

почвенного профиля нарушенных территорий учитывался характер строения новообразованных почвенных профилей, остаточные признаки исходной почвы, визуально диагностируемые признаки почвообразовательных процессов, литологические особенности почвообразующих пород. На территории промплощадки оценивались размеры неперекрытых участков. Осуществлялся отбор проб почвы из почвенных горизонтов для химико-аналитических исследований. Дополнительно отбирались пробы почвы из поверхностных горизонтов с глубины 0–2 см, 0–5 см и 0–10 см в зависимости от места отбора.

В качестве наиболее общих показателей трансформации почв использовались величина pH и зольность (для оценки содержания органического вещества). Всего проанализировано 111 проб почв (почвогрунтов) с различной глубины.



Рис. 1. Профиль ненарушенной дерново-подзолистой почвы (разрез 1)

Исследования показали, что почвенный покров в лесном массиве не нарушен, повсеместно выделяется лесная подстилка, сформированная остатками неразложившихся растений. Заложенный разрез характеризует классический профиль дерново-подзолистой песчаной почвы; по всему профилю встречаются включения природного происхождения – камни, а с глубины 38 см отмечаются признаки ожелезнения (сначала темные, ниже – вплоть до красновато-оранжевого цвета).

На территории промплощадки почвенный покров значительно трансформирован: большая часть территории занята зданиями либо перекрыта асфальтом и бетоном (около 81 %). Сохранившиеся открытые участки (газоны, клумбы) отличаются небольшими размерами, расположены у зданий, между проезжими участками, под трубопроводами. В ряде случаев почвы открытых и озелененных участков представляют собой лишь насыпи над подземными коммуникациями, либо насыпи железной дороги. В пределах наи-

Морфологические особенности почв. При характеристике почв на исследуемой территории использован подход, предложенный А.Н. Геннадиевым с соавторами [4] и опробованный при интерпретации результатов ландшафтных исследований в г. Минске [7]. Достаточно четко выделены две категории почвенных разностей: природные ненарушенные и техногенно-измененные почвы, или почвогрунты.

Природные ненарушенные почвы на изучаемой территории представлены дерново-подзолистыми песчаными почвами, развивающимися на вторичных водно-ледниковых песчаных отложениях. Описание почвенного шурфа, заложенного в сосновом лесу в 100 м севернее предприятия, приведено на рис. 1.

A ₀	Подстилка; смесь слаборазложившихся органических остатков с песком
0–2	
A ₁	Аккумулятивный горизонт; песок серово-желтый, мелкозернистый; переход между горизонтами выражен слабо; обилие корней деревьев
2–17	
A ₂ B ₁	Подзолисто-иллювиальный горизонт; песок грязно-желтый, мелкозернистый; включения мелких камней, корней деревьев
17–38	
B ₂	Иллювиальный горизонт; песок светло-желтый, мелкозернистый; присутствуют признаки ожелезнения (темные плотноватые включения)
38–60	
C	Почвообразующая порода; песок тонкозернистый, белесоватого цвета, очень плотный. Включения мелких камней, железистые включения красновато-оранжевого цвета
60–92	

более возвышенной части промплощадки озелененные территории представлены террасированными крутыми склонами.

Исследования показали, что практически на всех газонах поверхностный горизонт сформирован за счет насыпных гумусированных или оторфованных грунтов мощностью до 10–15 см. Иногда этот горизонт перекрыт другим субстратом (например, песком или песчано-гравийной смесью), встречаются также случаи перемешивания грунтов.

Строение почвенного профиля на промплощадке охарактеризовано на основании разреза, заложенного у административного корпуса, а также 4 прикопок. При описании для обозначения техногенных горизонтов использована буква U.

На рис. 2 представлен профиль техногенно-измененной почвы, сформировавшейся на песчано-торфяных грунтосмесях с примесью строительных отходов и развивающейся на насыпных и перемешанных почвогрунтах (с высо-

кой долей строительных отходов). В почвенном разрезе обнаружен целый «горизонт» техногенного происхождения – прослойка минеральной ваты на глубине 41–48 см, а также включения булыжников и битого кирпича, которые наблюдаются до глубины 1 м. Еще одной особенностью

почвенного профиля является наличие начальных признаков почвообразования, о чем свидетельствуют нечеткие границы перехода в нижележащие горизонты, носящие затечный характер, а также формирующаяся дернина.



Рис. 2. Профиль техногенно-измененной почвы на территории промплощадки (разрез 2)

В целом же на промплощадке, судя по заложенным прикопкам, поверхностный насыпной горизонт достаточно часто обновляется. Нижележащие горизонты также являются насыпными и/или перемешанными и характеризуются сильной уплотненностью и обилием техногенных включений. Четко выраженные переходы между техногенными горизонтами, как правило, обусловлены проведением строительных и ремонтных работ.

На прилегающей к промплощадке территории также отмечается значительная трансформация почвенного покрова в связи со строительством транспортных коммуникаций (дорог, автостоянок, трубопроводов), а также использованием для других типов городской застройки. В непосредственной близости от предприятия озелененные участки представлены газонами и сквером; они отличаются относительно выровненной поверхностью и окультуренностью. С южной и юго-западной стороны предприятия размещены промплощадки других предприятий, гаражи; имеются также жилые дома и офисные помещения с окультуренными палисадниками и огоро-

A ₀ 0–1	Маломощная дернина, песок с торфом; горизонт практически не выражен
U ₁ 1–13	Насыпной грунт, песок оторванный, однородный, от темно-серого до черного без включений. В верхней части корни растений, в нижней – техногенные включения (стекло, камни). Характер перехода в нижележащий горизонт – затечный.
U ₂ 13–42	Насыпной грунт, супесь желтовато-грязная, в нижней части – обилие включений (камни, осколки стекла, куски арматуры)
U ₃ 41–45(48)	Техногенные отложения в виде прослойки минеральной ваты с арматурой, проволокой, кирпичом, стеклом, древесными остатками
U ₄ 45(48)–100	Насыпной грунт, смесь песка с супесью; неоднородный по цвету (от светло-желтого до грязно-желтого и серого); включения камней и обломков кирпича. На глубине 90–95 см вскрыт кабель
U ₅ 100–113	Перемешанный грунт, смесь песка с супесью, местами примеси глины/суглинка; грязно-желтого, серого цвета

дами. Территория с западной стороны предприятия, на расстоянии около 100 м, представляет собой ложбину стока, по которой ныне проложен наземный трубопровод и ливневая канализация (с чередованием открытых и закрытых участков). В связи с этим рельеф поверхности неровный, с достаточно крутыми склонами ложбины и относительно пологим днищем с четко выраженным уклоном в сторону реки. В целом фрагментарность почвенного покрова на прилегающей территории существенно меньше, чем на промплощадке.

Строение почвенного профиля прилегающей к промплощадке территории характеризуют почвенные разрезы, описание которых приведено ниже.

Разрез, заложенный в палисаднике с южной стороны предприятия, перед зданием строительного треста, характеризует техногенно-измененную почву, сформировавшуюся на песчано-торфяных грунтах с примесью строительных отходов, развивающуюся на насыпных песчано-супесчаных грунтах (рис. 3).



Рис. 3. Профиль техногенно-измененной городской почвы (разрез 3)

Мощность насыпных отложений достигает 90 см и более, как и на промплощадке имеются включения строительных и бытовых отходов. Поверхностные горизонты подсыпаны оторфованым песком, на глубине ниже 19 см отмечается уплотнение почвенного горизонта за счет большого количества техногенных включений. Вскрытый профиль характеризует типичные городские антропогенно-преобразованные почвы, описание которых дается рядом авторов [12, 18, 21].

Иной характер строения почвенного профиля выявлен в ложбине стока, где исходные почвы оказались засыпанными и в настоящее время вскрываются как погребенные. Важную роль в почвообразовании помимо подсыпки и перемешивания грунтов играет привнос твердых частиц с поверхностным стоком. Заложенные разрезы свидетельствуют о разном проявлении процессов зонального почвообразования в зависимости от характера воздействия.

Разрез, представленный на рис. 4, характеризует техногенно-измененную почву на супес-

A ₀ 0–1	Маломощная дернина, песок оторфованный
U ₁ 1–19	Насыпной грунт; песок оторфованный от темно-серого до черного цвета; включения камней, мелких корней
U ₂ 19–33	Насыпной грунт; песок с супесью, очень плотный; обилие включений камней, арматуры, угля, обломков кирпича; охристые пятна
U ₃ 33–90	Насыпной грунт; песок грязно-серого цвета, насыпной, неоднородный, слоистый. На глубине 90 см плотный с техногенными углеподобными включениями

ченых насыпных и наносных грунтах, развивающуюся на погребенной дерново-подзолистой супесчаной почве

На данном участке с глубины 64 см обнаруживается исходная погребенная почва с гумусированным поверхностным горизонтом. Невысокая степень задернованности, большая мощность поверхностного достаточно однородного горизонта (до 32 см), весьма четкая граница перехода в нижележащий техногенный горизонт – факторы, свидетельствующие о продолжающемся антропогенном воздействии. Вместе с тем наличие затеков в горизонте U₂ являются следствием процессов зонального почвообразования.

Более четко процессы зонального почвообразования зафиксированы на участке, где на протяжении примерно 25–30 лет не проводились земляные работы. В строении почвенного профиля четко прослеживается слоистость горизонтов, хорошо выражены признаки ожелезнения (рис. 5).



U ₁ 0–32	Перемешанный грунт, супесь гумусированная иловатая, насыпная (частично наносная), серого цвета, рыхлая, в верхней части с корнями растений с примесью обломков плитки, кирпича и гравия
U ₂ 32–64	Перемешанный грунт, песок оглинённый неоднородный по цвету, желтовато-бурый с обилием затеков от серого до темно-серого с включениями обломков кирпича и камня
A ₁ погреб. 64–100	Погребенный гумусированный горизонт, супесь серая опесчаненная, однородная. Встречаются примеси гравия, углеподобные включения
B ₁ 100–120	Песок мелкозернистый желтовато-белесый с примесью гравия, однородный, влажный
C 120–137	Суглинок, желтовато-охристого цвета с примесью гравия, плотный

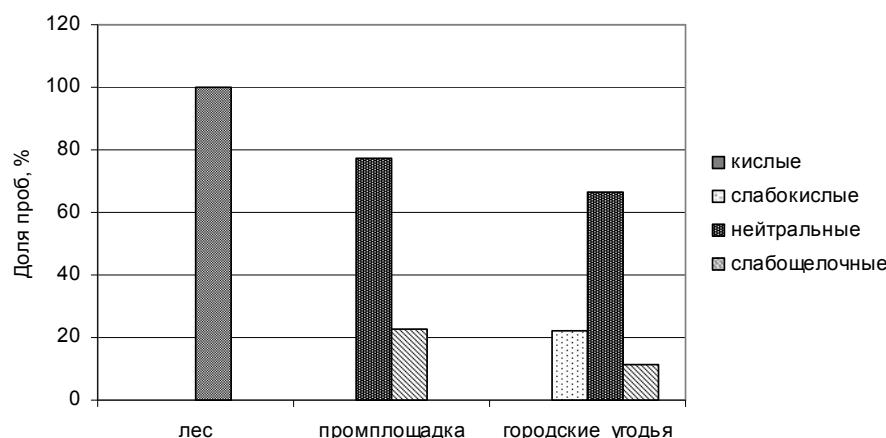
Рис. 4. Профиль техногенно-измененной почвы в ложбине стока (разрез 4)



Рис. 5. Профиль техногенно-измененной почвы в ложбине стока (разрез 5)

pH почв. Сравнение изучаемых почв с данными литературных источников показало, что дерново-подзолистые почвы в лесных массивах с северной и восточной стороны от предприятия являются кислыми ($\text{pH}_{\text{KCl}} 3,6\text{--}4,2$) и по данному показателю близки к почвам фоновых территорий – 3,5–4,2 (для ненарушенных дерново-подзолистых песчаных почв в бассейне р. Неман) [10]. Кислая реакция среды ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4,8$) характерна также для почвы на территории городской парковой зоны, удаленной от предприятия примерно на 1,3 км.

В отличие от природных почв поверхностные горизонты почв промплощадки (0–10 см) характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией, причем на долю слабощелочных почв приходится более 20% отобранных образцов (рис. 6). Отмечаются незначительные локальные различия по данному показателю: наименьшие значения pH_{KCl} наблюдаются в непосредственной близости от административных и бытовых корпусов ($\text{pH}_{\text{KCl}} 7$ и ниже), для большинства участков, примыкающих к производственным цехам, значения pH_{KCl} выше 7.

Рис. 6. Распределение проб почв, отобранных на различных угодьях в г. Лиде, по величине pH_{KCl}

Поверхностные горизонты (0–10 см) почв, прилегающих к производственной зоне, в 66 % случаев имеют нейтральную реакцию, на долю слабокислых и слаботщелочных приходится 22 и 11 % соответственно; среднее значение pH_{KCl} составило 7. Почвы, отобранные с глубины 0–2 см, характеризуются близкими значениями pH.

Выявлено закономерное увеличение величины pH_{KCl} вниз по почвенному профилю с максимальными значениями на глубине 20–50 см (рис. 7). В природных условиях подщелачивание с глубиной также имеет место, однако различия в значениях pH_{KCl} обычно несущественны [10]. В зоне воздействия лакокрасочного производства, как показали исследования, реакция среды в ряде случаев изменяется от нейтральной до слаботщелочной. Максимальные значения pH_{KCl} , достигающие 8,1–8,2, выявлены в техногенно-измененных почвах ложбины стока на глубине от 30 до 70 см.

Подщелачивание почв может быть связано как с попаданием в почву строительных отходов,

золы и других веществ техногенного происхождения, так и с сырьем для изготовления лакокрасочных материалов, содержащим щелочные и щелочно-земельные металлы (натрий, кальций, барий и др.).

Содержание органического вещества в почвах. Содержание органического вещества в поверхностном горизонте (0–10 см) естественной дерново-подзолистой почвы находится на уровне 3,6 %, что характерно для естественных дерново-подзолистых почв, развивающихся под пологом леса [11]; содержание в лесной подстилке (0–2 см) достаточно высокое – 19,3–28,8 %.

Содержание органического вещества в поверхностных горизонтах почв промплощадки (0–10 см) варьирует в пределах 2,9–19,2 %, в приповерхностном горизонте (0–2 см) достигает 20,3 %. Значительная доля органического вещества в техногенно-измененных почвах обусловлена использованием привозных высокогумусированных или оторфованных грунтов для улучшения свойств газонов.

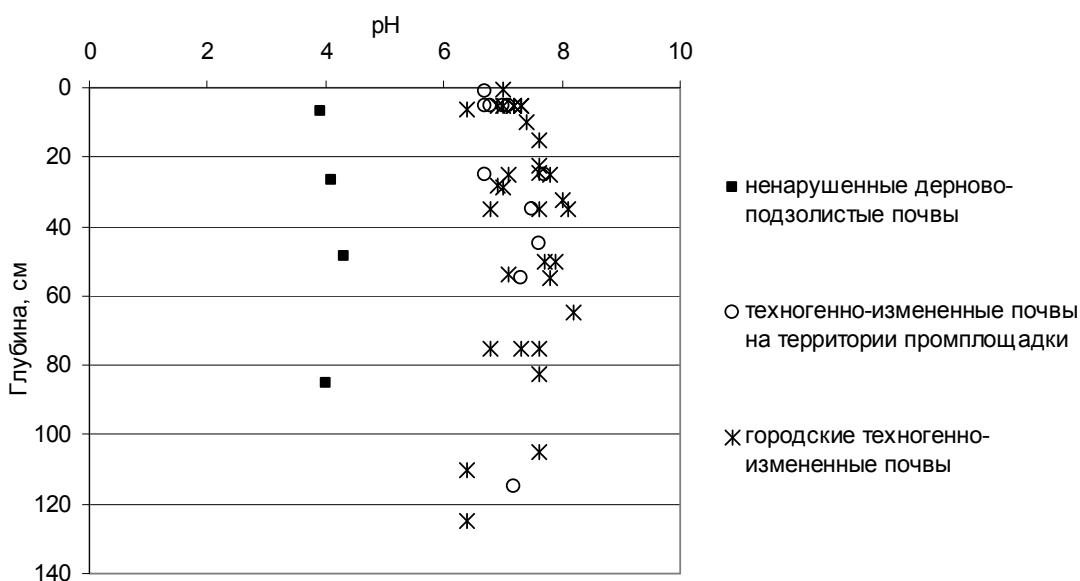


Рис. 7. Изменение pH_{KCl} почв с глубиной в естественных и техногенно-измененных почвах

Большим разнообразием характеризуются поверхностные горизонты дерново-подзолистых почв прилегающих к промплощадке территорий: содержание органического вещества на глубине 0–10 см изменяется в пределах 2,4–28,5 %, достигая максимальных значений на благоустроенных озелененных газонах, сформированных с участием торфяной подсыпки (см. таблицу).

С глубиной количество органического вещества в естественных дерново-подзолистых почвах закономерно снижается (до 0,8 % на глубине 80–90 см).

В почвах на промплощадке рассматриваемая величина также уменьшается с глубиной,

причем достаточно резко (для примера: с 10,4 % в горизонте 0–10 см до 1,9 % на глубине 20–30 см), что подтверждает различный характер и назначение используемых насыпных грунтов.

Для прилегающих территорий распределение органического вещества по профилю не столь однозначно. Так, на отдельных участках ввиду высокой перемешанности и наличия включений не только строительных, но и бытовых отходов (угля), его доля в нижележащих горизонтах достигает 12–14 % на глубине 20–40 см. Высокое содержание органического вещества (10 %) на глубине 80 см обусловлено наличием погребенного гумусированного горизонта (рис. 8).

Уровни содержания органического вещества в поверхностных горизонтах почв в зоне воздействия лакокрасочного производства

Место отбора	Глубина отбора, см	Количество проб	Содержание органического вещества, %		
			среднее	минимум	максимум
Промплощадка	0–10	43	7,1	2,9	19,2
Городские территории, прилегающие к промплощадке	0–2	6	11,8	4,3	34,0
	0–10	17	13,5	2,4	28,5
Лес	0–2	3	23,0	6,2	32,4
	0–10	1	3,5	3,5	3,5

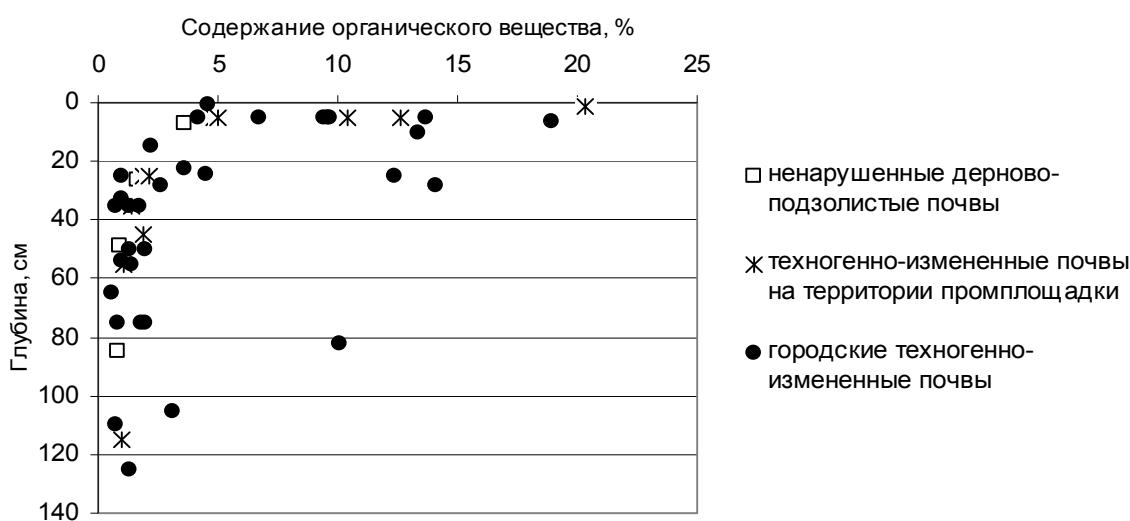


Рис. 8. Изменение содержания органического вещества с глубиной в естественных и техногенно-измененных почвах

Выходы

Исследования показали, что наиболее трансформирован почвенный покров на территории промышленного предприятия, где практически не осталось естественных озелененных участков с исходными почвами. Неперекрытые участки характеризуются фрагментарностью выделов и значительной трансформацией почв по сравнению с природными аналогами. Техногенно-измененные почвы формируются на насыпных и перемешанных грунтах с высокой долей техногенных включений, количество которых возрастает с глубиной. Механизмы почвообразования на территории промплощадки существенно трансформированы по сравнению с естественными почвами, что в значительной степени связано с частыми работами по ремонту/реконструкции подземных коммуникаций, благоустройству территории. Такая деятельность препятствует почвообразовательным процессам.

Зона воздействия предприятия не ограничивается собственно производственной площадкой: существенная трансформация почв наблюдается также и на прилегающих к предприятию территориях, в том числе благоустроенных и используемых для инфраструктуры. Однако на уча-

стках, где интенсивное механическое воздействие имело место более 30 лет назад, в техногенно-преобразованных почвах заметны признаки зонального почвообразования, проявляющиеся в затеках и примазках, окжелезнении, оглеении. В конечном счете происходящие здесь процессы могут привести к формированию почв, близких к зональным, хотя существующие генетические и литологические различия почвенных горизонтов сохраняют свою специфику.

В то же время повсеместное подщелачивание на промплощадке и прилегающих территориях с изменением кислой и слабокислой реакции среды на нейтральную и слабощелочную, в том числе в нижележащих горизонтах, свидетельствует о существовании постоянного техногенного воздействия на почвы как за счет поверхности стока и воздушного переноса, так и за счет большого количества техногенных примесей по всей глубине почвенного профиля.

Высокие уровни содержания органического вещества, в ряде случаев значительно превышающие природные аналоги, как в поверхностных, так и нижележащих почвенных горизонтах, обусловлены антропогенным вмешательством в почвообразовательный процесс: подсыпкой гу-

мусированных поверхностных горизонтов, засыпкой исходных почв, перемешиванием.

Подщелачивание, наличие гумусированных поверхностных горизонтов – факторы, способствующие уменьшению подвижности тяжелых металлов, а следовательно, их закреплению в верхней части почвенного профиля; однако в случае перемешанности и насыпного характера грунтов действие данных факторов, вероятно, не будет столь однозначным.

В целом в зоне воздействия лакокрасочного производства сформировались техногенно-измененные почвы, в профиле которых насып-

ные и/или перемешанные грунты встречаются на глубину до 1 м и более. Высокая доля техногенных примесей свидетельствует о возможности формирования внутрипочвенных педогеохимических аномалий за счет захоронения строительных отходов и загрязненных грунтов.

Полученные результаты будут в дальнейшем учтены при оценке уровней загрязнения почв в зоне воздействия лакокрасочного производства, выявлении особенностей миграции и аккумуляции загрязняющих веществ на изучаемой территории.

Литература

1. **Андроханов, В. А.** Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В. А. Андоханов, С. В. Овсянникова, В. М. Курачев. Новосибирск, 2000.
2. **Аржанова, В. С.** Геохимия ландшафтов и техногенез / В. С. Аржанова, П. В. Елпатьевский. М., 1990.
3. **Гаджиев, И. М.** Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / И. М. Гаджиев, В. М. Курачев, Ф. К. Рагим-заде [и др.]. Новосибирск, 1992.
4. **Геннадиев, А. Н.** О принципах группировки и номенклатуры техногенно-измененных почв / А. Н. Геннадиев, Н. П. Солнцева, М. И. Герасимова // Почвоведение. 1992. № 2. С. 49–60.
5. **Крючкова, Н. Н.** Гигиенические вопросы производства и регламентации лакокрасочных материалов / Н. Н. Крючкова, Г. Е. Косяченко, Л. В. Половинкин // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены ; гл. ред. С. М. Соколов. Минск, 2006. Вып. 7. С. 691–698.
6. **Кухарчик, Т. И.** Полихлорированные бифенилы в биоте: результаты исследований в зоне воздействия лакокрасочного производства / Т. И. Кухарчик, И. А. Защенская, М. И. Козыренко // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены ; гл. ред. В. П. Филонов. Минск, 2010. Вып. 15. С. 170–178.
7. **Кухарчик, Т. И.** Выработанные торфяники в городах: опыт ландшафтных исследований / Т. И. Кухарчик [и др.] // Природные ресурсы. 1999. № 2. –С. 83–90.
8. **Кухарчик, Т. И., Козыренко, М. И.** Источники поступления тяжелых металлов в почвы при производстве лакокрасочной продукции / Т. И. Кухарчик, М. И. Козыренко // Материалы 11-й Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века». Минск, 2011. С. 370–371.
9. **Никифорова, Е. М., Кошелева, Н. Е.** Накопление подвижных и валовых форм свинца в городских почва (на примере Москвы) / Е. М. Никифорова, Н. Е. Кошелева // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 1. С. 77–82.
10. **Петухова, Н. Н.** Геохимия почв Белорусской ССР / Н. Н. Петухова. Минск, 1987.
11. **Почвоведение** / под ред. И. С. Кауричева, И. П. Гречина. М., 1969.
12. **Прокофьев, Т. В., Попутников, В. О.** Антропогенная трансформация почв парка Покровское-Стрешнево (Москва) и прилегающих жилых кварталов / Т. В. Прокофьев, В. О. Попутников // Почвоведение. 2010. № 6. С. 748–758.
13. **Саэт, Ю. Е.** Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и [др.]. М., 1990.
14. **Солнцева, Н. П.** Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н. П. Солнцева. М., 1998.
15. **Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень 2010 г.** / под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2011.
16. **Строганова, М. Н., Мягкова, А. Д., Прокофьев, Т. В.** Роль почв в городских экосистемах / М. Н. Строганова, А. Д. Мягкова, Т. В. Прокофьев // Почвоведение. 1997. № 1. С. 96–101.
17. **Федоров, А. С.** Устойчивость почв к антропогенным воздействиям / А. С. Федоров. СПб., 2008.
18. **Хакимов, Ф. И., Деева, Н. Ф., Ильина, А. О.** Почвы промышленного города: трансформация и загрязнение / Ф. И. Хакимов, Н. Ф. Деева, А. О. Ильина // Екологія та ноосферологія. 2006. Т. 17. № 1–2. С. 24–40.
19. **Хомич, В. С.** Светлогорск: экологический анализ города / В. С. Хомич [и др.]. Минск, 2002.
20. **Хомич, В. С., Какарека, С. В., Кухарчик, Т. И.** Экогохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. Минск, 2004.
21. **Шергина, О. В.** Морфологические и физико-химические особенности почв города Иркутска / О. В. Шергина // География и природные ресурсы. 2006. С. 82–90.
22. **Guides to Pollution Prevention: The Paint Manufacturing Industry** // EPA. 1990.
23. **Malakootian, M.** Removal from Paint Industries Effluent Using Wood Ash / M. Malakootian [et al.] // Int. J. Environmental Science Technology. 2008. P. 217–222.
24. **Toxicological Profile for Lead.** U.S. Department of Health and Human Services. 1999.

25. Vwioko, E. D. Nickel and Chromium Concentrations in Plant Tissues of Accessions of Okro Grown in Soil Contaminated with Paint Waste / E. D. Vwioko [et al.] // African J. of General Agriculture. Vol. 4, N 1. 2008. P. 27–37.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 23.04.2012

М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА)**

Изучены особенности трансформации почв в зоне интенсивного техногенного воздействия – лакокрасочного производства.

Результаты исследований почв на промплощадке и прилегающих к ней городских территориях указывают на наличие трансформации не только поверхностных, но и нижележащих горизонтов. Поверхностные горизонты в большинстве случаев носят насыпной характер, нарушенность почвенного профиля наблюдается до глубины 1 м, на что указывает большое количество техногенных включений (остатков строительного, местами бытового мусора).

О трансформации почв свидетельствуют не только морфологические особенности почв, но и уровни pH_{KCl} , а также содержания органического вещества. Максимальные уровни показателя pH_{KCl} в почвах промплощадки достигают значения 7,7, на прилегающих территориях – 8,2. Высокое содержание органического вещества в поверхностных горизонтах промплощадки (до 19,2 %) и городских территорий (до 34 %) является следствием подсыпки гумусированного грунта в поверхностных горизонтах.

M. I. Kozyrenko, T. I. Kukharchyk

**TRANSFORMATION OF SOILS IN ZONE OF INDUSTRIAL ENTERPRISE IMPACT
(ON THE EXAMPLE OF PAINT AND VARNISH MANUFACTURE)**

Features of soils transformation in zone of intensive technogenic impact – paint and varnish manufacture are studied.

Results of researches of soils on industrial site and adjoining to it city territories specify the presence of transformation of not only surface, but also underlying horizons. Surface horizons in most cases are of bulk character, disturbance of a soil profile is observed to the depth of 1 m, that is specified by a great quantity of technogenic inclusions (building and household garbage).

Soil transformation is proved by not only morphological features of soils, but also by pH_{KCl} levels, and organic matter content. Indicator maximum levels pH_{KCl} in industrial sites reach values 7,7, in adjoining territories – 8,2. The high content of organic substance in industrial site surface horizons (to 19,2 %) and city territories (to 34 %) resulted from adding a ground with humus into surface horizons.

УДК 504.064.36:550.33 (476)

**В. С. Хомич, Д. Ю. Городецкий, Е. П. Овчарова,
В. С. Рыжиков, С. В. Савченко, Г. М. Бокая, П. В. Курман**

ЗОЛООТВАЛЫ ТЭЦ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

На основании детальных эколого-геохимических исследований золоотвала Витебской ТЭЦ, сформированного из золы от сжигания торфа, рассмотрены уровни накопления и радиального распределения тяжелых металлов, ПАУ и нефтепродуктов в толще золы, изучен ионный состав и концентрация тяжелых металлов в воде, содержащейся в толще золоотвала. Выявлены высокие уровни загрязнения золы и показаны экологические риски в связи с возможным градостроительным освоением территории золоотвала.

Вопросы обращения с отходами от сжигания твердого топлива в последние годы привлекают все большее внимание исследователей. С одной стороны, это связано с необходимостью использования земель, занятых золоотвалами, под инфраструктуру расширяющихся городов, с другой – с увеличением объемов образующейся золы вследствие вовлечение местных ресурсов (торфа, древесных и других отходов) в топливно-энергетический баланс страны.

В соответствии с классификатором отходов [8], зола от сжигания торфобрикетов и торфа с древесиной относится к 3-му классу опасности и подлежит складированию на специально оборудованных площадках, расположение которых должно определяться согласно Закону Республики Беларусь «Об обращении с отходами» и СанПиН 2.1.7.12-42-2005 [6, 19].

По данным [2] общая площадь земель в странах СНГ, занятых под отвалы, превышает 35 тыс. га, на которых размещено 1,5 млрд т золошлаковых материалов. Золоотвалы являются источником загрязнения среды обитания человека: увеличивают запыленность воздуха, их токсичное содержимое может попасть в грунтовые воды, водоемы и почву. В промышленно развитых странах используют почти 100 % золошлаковых отходов. В большинстве постсоветских стран огромные ресурсы золы и шлаков тепловых электрических станций используются менее чем на 10 %.

С ростом городов места размещения золоотвалов попадают в черту города, в результате чего встает вопрос о дальнейшем возможном использовании данных территорий. Наиболее приемлемыми направлениями использования золошлакоотвалов являются:

озеленение с нанесением плодородного слоя почвы, задернованием и посадкой древесно-кустарниковой растительности;

формирование промышленных зон и строительство производственных и сервисных зданий с реализацией комплекса рекультивационных работ;

строительство жилых зон при условии полного удаления золо- и шлакоотвалов с последующей оценкой экологического состояния территории [7, 10].

Для Витебска преградой развития города в северо-западном направлении явился золоотвал местной ТЭЦ. С целью оценки пригодности золоотвала для градостроительного освоения по экологическим критериям и разработки рекомендаций по обращению со складированными отходами и экологически безопасному использованию земель в 2010 г. было реализовано настоящее исследование.

Золоотвал Витебской ТЭЦ был заложен в 1954 г. на западной окраине Витебска в 500 м от ТЭЦ и предназначался для складирования золы и шлака от сжигания твердого топлива, главным образом торфа (рис. 1). На протяжении 25 лет на золоотвале было складировано около 2,0 млн т золы.

Для транспортировки золы использовалась система гидрозолоудаления. Золоотвал был разделен на 3 секции, что позволяло регулировать степень осаждения взвесей из пульпы и тем самым уменьшать сброс взвешенных веществ в водоприемник отстоявшихся вод с золоотвала.

В настоящее время северо-восточная секция золоотвала практически не используется, за исключением крайней юго-восточной ее части, занятой под гаражи и автостоянку. Центральная секция золоотвала большей частью освобождена под производственную зону, в пределах которой размещено несколько предприятий.

Юго-западная секция золоотвала частично используется Витебской ТЭЦ в качестве шламоотвала для складирования опасных отходов. Для этих целей секция разделена дамбой на 2 ячейки, в меньшей из которых поверх золы был уложен противофильтрационный экран из полиэтиленовой пленки для складирования отходов 3-го класса опасности. Всего за период с 1989 по 2010 г. на шламоотвале складировано около 100 т отходов (шлак котельных, отработанный

сульфоуголь и ионообменная смола, шлам химико-водоочистки).

Полевые исследования проводились с использованием методических подходов геохимии ландшафтов, позволяющих учитывать ландшафтно-геохимические особенности территории, источники и потоки миграции загрязняющих веществ [1, 3, 5, 8, 23]. Для изучения свойств и химического состава отходов, складированных на золоотвале, было заложено семь буровых скважин. Бурение осуществлялось на всю мощность хранящихся отходов и 1,5–2 м подстилающей породы. Образцы грунта отбирались из буровых кернов с интервалом около 1 м.

На территории золоотвала и в зоне его влияния отбирались подземные, поверхностные

и сточные воды. Поверхностные воды отбирались из естественных и искусственных водотоков и водоемов, а также в местах высасывания фильтратов из толщи золоотвала. Для оценки состояния подземных вод проводилось опробование вод из шахтных колодцев, буровых скважин и почвенных шурфов.

В пределах исследуемой территории отобрано двадцать водных проб, в том числе: из буровых скважин на золоотвале – 8, из скважины режимной сети – 1, из шахтных колодцев – 2, почвенно-грунтовых вод из шурфов – 2, фильтратов из золоотвала – 1, проб поверхностных вод из дренирующих канав, водоемов и болот – 6.



Рис. 1. Схема расположения золоотвала Витебской ТЭЦ, мест заложения буровых скважин и отбора проб

Определение содержания тяжелых металлов в отобранных пробах проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии [12]. Определение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах отходов и почв проводилось с использованием хромато-спектроскопии в режиме регистрации отдельных ионов (Selected Ion Monitoring, SIM) [21].

Определение концентраций химических веществ в водных пробах проводилось с использованием общепринятых методик [18, 21].

Уровни загрязнения и потенциальная опасность отложений золоотвала при его градостроительном освоении оценивались путем сравнения полученных концентраций загрязняющих веществ в техногенных грунтах с фоно-

выми значениями и гигиеническими нормативами для почв (земель) различных функциональных зон населенных пунктов [4, 13, 14, 17].

В качестве фоновых значений использовались усредненные данные наблюдений за землями фоновых территорий Брестской области [22], а также региональные кларки тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах Беларуси [15].

Территория золоотвала представляет собой выровненную поверхность с перепадом высот менее 2 м. Мощность отложений золы составляет 5–8 м. Сверху зола перекрыта насыпными перемешанными песчаными и супесчаными грунтами с примесями золы и разнообразных отходов (рис. 2).

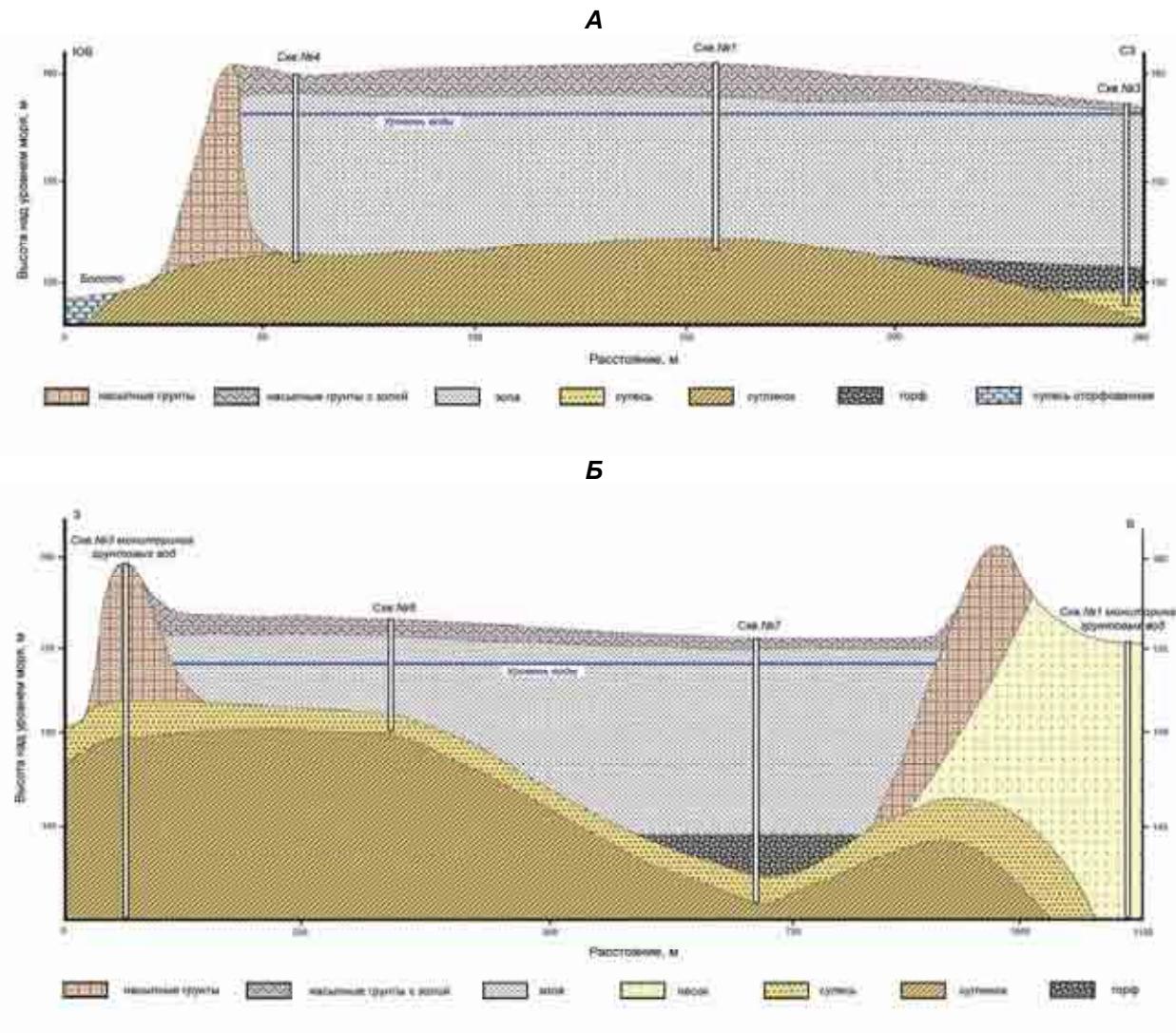


Рис. 2. Гидрогеологические профили через золоотвал: А – восточная секция, юго-восток – северо-запад; Б – западная секция, юго-запад – северо-восток

их мощность изменяется от 0,2 м (3-я скважина) до 1,7 м (1-я скважина). Снизу зола подстилается плотными суглинками и глинами, которые являются водоупором. Зола обводнена. «Грунтовые воды» находятся на глубине от 0,7 до 2,9 м от поверхности золоотвала. Неглубокое их залегание свидетельствует о том, что залегающие в ложе золоотвала и слагающие ограждающие дамбы породы обладают хорошей водоудерживающей способностью. Подземные воды сожского водоносного горизонта залегают на глубине более 12 м от поверхности золоотвала.

Кислотность техногенных грунтов. Одним из важнейших индикаторов состояния грунтов является значение водородного показателя (pH). Известно, что с реакцией среды тесно связаны процессы превращения минеральной и органической составляющих, в том числе образование и устойчивость комплексных соединений, их под-

вижность и, как следствие, миграция и аккумуляция веществ, включая тяжелые металлы и другие загрязнители. Для растений токсичность реакции почвенной среды наступает при значении pH KCl 4,3–4,5 (сильнокислая) и выше 8–8,5 (сильнощелочная).

Характеризуя водно-физические свойства техногенных грунтов в пределах золоотвала следует отметить, что реакция среды изменяется от слабощелочной ($\text{pH} = 7,5\text{--}8,5$) до сильнощелочной ($\text{pH} > 9,5$) (табл. 1). Слабощелочная среда характерна для насыпных техногенных грунтов, перекрывающих отложения золы, значения pH для которых составили – 7,5–7,9 (среднее 7,7). Высокие значения pH – 8,9–10,5 (среднее 10,4) характерны для отложений золы, что позволяет их классифицировать как щелочные и сильнощелочные. Эти данные хорошо согласуются с исследованиями, выполненными в зонах воздейст-

вия теплоэлектростанций, и свидетельствуют о том, что зола с ТЭЦ имеет щелочную реакцию среды [8, 23]. 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 содержание органического вещества изменяется от 4,8 до 24,0 %, при этом их среднее значение составляет 10,6 %. Высокое содержание органического вещества в золе – в отдельных случаях до 49 %, при средней 18,9 % свидетельствует о значительном недожиге торфа на ТЭЦ. Однако необходимо учитывать, что часть органического вещества могла образоваться в водоемах на территории золоотвала в период их активного использования.

В подстилающих и погребенных грунтах содержание органического вещества колеблется в широких пределах от 0,7 до 93,0 %. Низкое содержание органического вещества характерно для подстилающих суглинистых и глинистых пород (0,7–7,5 %), высокое (78,6–93,0 %) – для погребенных торфов, вскрытых скважиной 7.

Нефтепродукты. В пределах золоотвала содержание нефтепродуктов в техногенных отложениях изменяется в пределах от 9,4 до 1871,2 мг/кг

при их среднем значении 219,7 мг/кг. В поверхностном насыпном горизонте среднее содержание нефтепродуктов несколько ниже – 172,3 мг/кг, в золе выше – 235,5 мг/кг (табл. 2). Аномально высокие концентрации нефтепродуктов (1196,0 мг/кг) наблюдаются в золе на глубине 1,9–2,0 м в пределах скважины 1, что, очевидно, связано со сливом нефтепродуктов в этой части золоотвала. В подстилающих породах по сравнению с техногенными грунтами концентрация нефтепродуктов незначительна и составляет в среднем 22,9 мг/кг.

Таким образом, в пределах золоотвала максимальные концентрации нефтепродуктов приурочены к отложениям золы. Минимальное их содержание характерно для подстилающих пород. Содержание нефтепродуктов в целом не характерно для золосодержащих отходов тепловых электростанций. Их наличие в золе и насыпных грунтах исследуемого объекта, очевидно, связано со сбросом нефтесодержащих отходов на его территории.

Полициклические ароматические углеводороды. Изучение радиального распределения ПАУ в толще золоотвала Витебской ТЭЦ проводилось на примере скважин 1 и 7. Результаты определения ПАУ в пробах золы и грунтов приведены в табл. 3.

Таблица 1. Зольность, кислотность и содержание органического вещества в золе, насыпных грунтах и подстилающих породах в пределах золоотвала Витебской ТЭЦ

Тип техногенного субстрата	Количество проб	рН		Зольность, %		Содержание органического вещества, %	
		диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее
Насыпной грунт (пески, супеси с примесью золы и отходов)	9	7,5–8,1	7,7	75,7–95,2	86,2	4,8–24,3	13,8
Зола	40	8,7–10,9	10,3	51,0–95,7	79,0	4,3–49,0	20,9
Подстилающие и погребенные породы (глины, суглинки, торф)	24	5,6–10,9	8,2	7,0–99,3	82,5	0,7–93,0	17,4

Таблица 2 . Загрязнения насыпных грунтов, золы и подстилающих пород нефтепродуктами в пределах золоотвала Витебской ТЭЦ

Субстрат	Коли-чество проб	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		Доля проб с превышением ПДК*, %	Максимальная кратность превышения ПДК, раз
		пределы	среднее		
Насыпной грунт (пески, супеси)	9	11,0–497,0	172,3	0	0
Зола	27	9,4–1871,2	235,5	7,4	3,7
Подстилающие и погребенные породы (глины, суглинки, торф)	14	4,8–60,1	22,9	0	0

* ПДК нефтепродуктов для земель (включая почвы) промышленности [16].

Таблица 3. Загрязнение насыпных грунтов, золы и подстилающих пород ПАУ в пределах золоотвала Витебской ТЭЦ

Соединение	Субстрат					
	Насыпные грунты		Зола		Подстилающие породы	
	пределы содержания, мг/кг	кратность превышения ПДК/ОДК, раз	пределы содержания, мг/кг	кратность превышения ПДК/ОДК, раз	пределы содержания, мг/кг	кратность превышения ПДК/ОДК, раз
Нафталин	0,491-0,532	32,7-35,4	0,52-3,651	34,6-243,0	0,027-0,86	1,1-57,3
Аценафтилен	0,014-0,060	—	0,04-1,617	—	0,008-0,055	—
Аценафтэн	0,056-0,144	—	0,09-0,331	—	0,012-0,069	—
Флуорен	0,024-0,073	—	0,016-0,306	—	0,018-0,033	—
Фенантрен	0,035-0,154	3,5-15,4	0,021-2,132	2,1-213,2	0,023-0,096	2,3-9,6
Антрацен	0,008-0,038	—	0-0,297	0,4-5,9	0-0,019	—
Флуорантен	0,022-0,301	1,4-20,1	0-2,097	3,4-139,8	0,007-0,111	0,5-7,4
Пирен	0,014-0,241	—	0,014-2,069	—	0-0,121	—
Бензо(а)антрацен	0,019-0,208	0,9-10,4	0,021-0,143	1,1-7,1	0,01-0,06	0,5-3,1
Хризен	0,016-0,208	0,01-0,2	0-0,198	0,01-3,6	0-0,026	0-1,9
Бензо(б)флуорантен	0,025-0,248	—	0-0,139	—	0-0,037	—
Бензо(к)флуорантен	0,012-0,077	—	0-0,049	—	0-0,015	—
Бензо(а)пирен	0,090-0,190	1,5-9,5	0-0,125	1,2-6,2	0-0,038	0-1,9
Индано[1,2,3-с,д]пирен	0,019-0,153	0,7-6,1	0-0,1	0,9-4,0	0-0,03	0-1,2
Дибензо[а,х]антрацен	0,007-0,048	—	0-0,26	—	0-0,017	—
Бензо[г,х,и]перилен	0,019-0,172	0-8,6	0-0,11	1,1-5,5	0-0,054	0-2,7
Сумма ПАУ	0,810-2,853	0,8-2,8	1,638-12,9	1,6-12,9	0,108-1,648	0,1-1,6

Согласно полученным данным, в толще золоотвала ПАУ фиксируется во всех анализируемых пробах. Сумма 16 соединений ПАУ в золе изменяется от 1,6 до 12,9 мг/кг, при среднем их содержании 2,814 мг/кг, что в несколько раз выше по сравнению с насыпными грунтами. Наименьшее содержание ПАУ (по сумме 16 соединений), как и следовало ожидать, характерно для подстилающих пород, хотя в ряде случаев достигает величины, превышающей допустимую для почв.

В структуре ПАУ преобладают летучие низкомолекулярные соединения, на долю которых в грунтах золоотвала приходится: насыпные грунты – 82 %, зола – 95, подстилающие поро-

ды – 83 %. Основной вклад в суммарную долю исследуемых ПАУ вносит нафталин, содержание которого в насыпных и подстилающих породах превышает 50 % от общего количества ПАУ, в золе – 30 %. Доля остальных соединений составляет менее 15 %.

Для суммы 16 соединений ПАУ характерна тенденция увеличения содержания вниз толщи золоотвала. Это, вероятно, связано с радиальными миграционными потоками соединений ПАУ и мелкодисперсным составом золы. Увеличение концентраций с глубиной характерно как для низкомолекулярных, так и для высокомолекулярных соединений ПАУ (рис. 3).

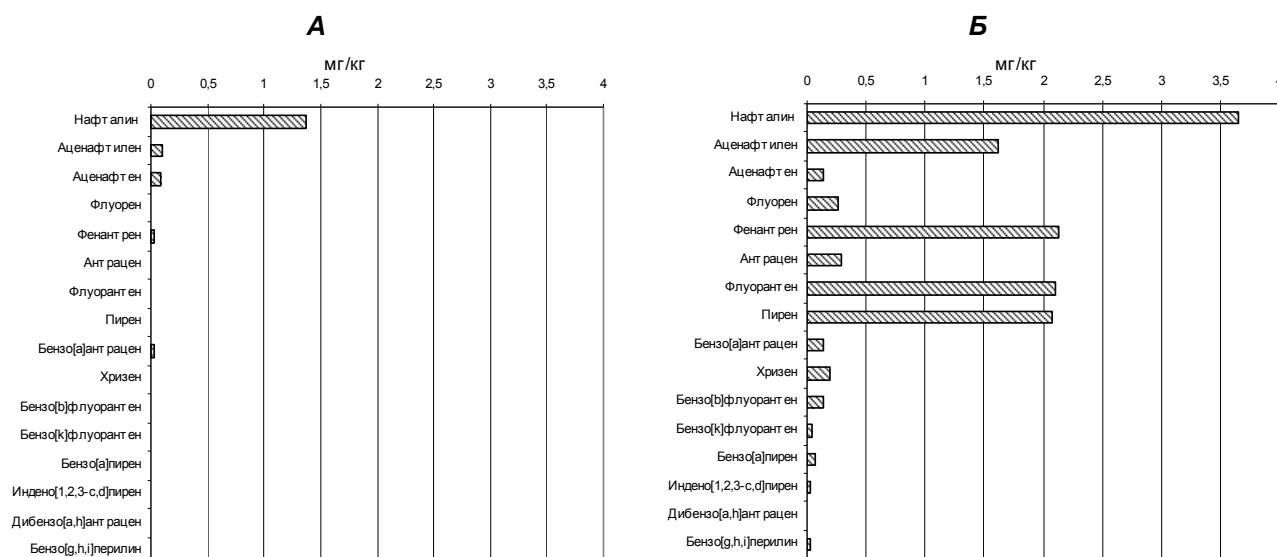


Рис. 3. Содержание соединений ПАУ в толще золы на глубинах 60–70 см (А) и 790–800 см (Б) (скважина 7)

Сравнение с санитарно-гигиеническими нормативами показало, что среди соединений ПАУ наиболее распространеными загрязнителями в пределах золоотвала являются нафталин, фенантрен, флуорантен и бензо(а)антрацен, содержание которых в 80–100 % случаев превышает ПДК/ОДК. Для данных соединений характерна максимальная кратность превышения установленных нормативов, составляющая десятки и сотни раз. В меньшей степени почвы и грунты загрязнены бензо(а)пиреном, индено[1,2,3-c,d]пиреном и бензо[g,h,i]периленом, содержание которых в 30–60 % случаев выше установленных нормативов с превышением до 5 ОДК/ПДК. По сумме ПАУ во всех пробах золы были превышены значения ОДК (кратность превышения от 1,6 до 12,9 раз).

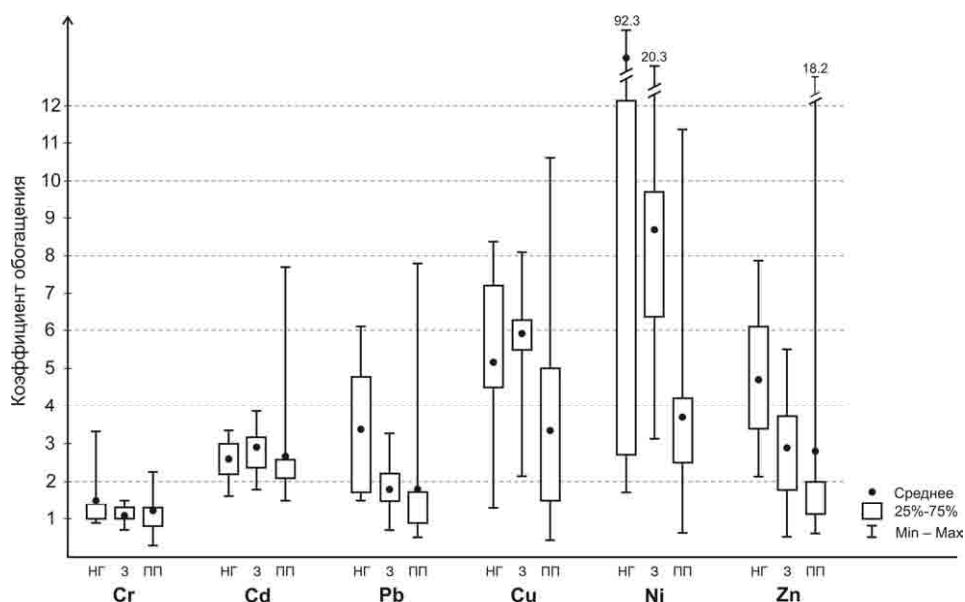


Рис. 4. Коэффициенты обогащения техногенных отложений золоотвала и подстилающих пород тяжелыми металлами по отношению к местному почвенно-геохимическому фону (нг – насыпные грунты перемешанные с золой, з – зональные грунты, пп – подстилающие породы)

Подстилающие золу породы явились геохимическим барьером на пути радиальной миграции загрязняющих веществ из толщи техногенных отложений. В подстилающих породах концентрация исследуемых металлов изменяется: хрома – от 26,6 до 81,1 мг/кг (среднее 42,2 мг/кг), кадмия – от 0,63 до 2,6 (0,95), свинца – от 6,0 до 57,4 (14,8), меди – от 6,2 до 47,4 (17,7), никеля – от 9,0 до 53,5 (19,8), цинка – от 18,7 до 394,2 мг/кг (среднее 66,1 мг/кг).

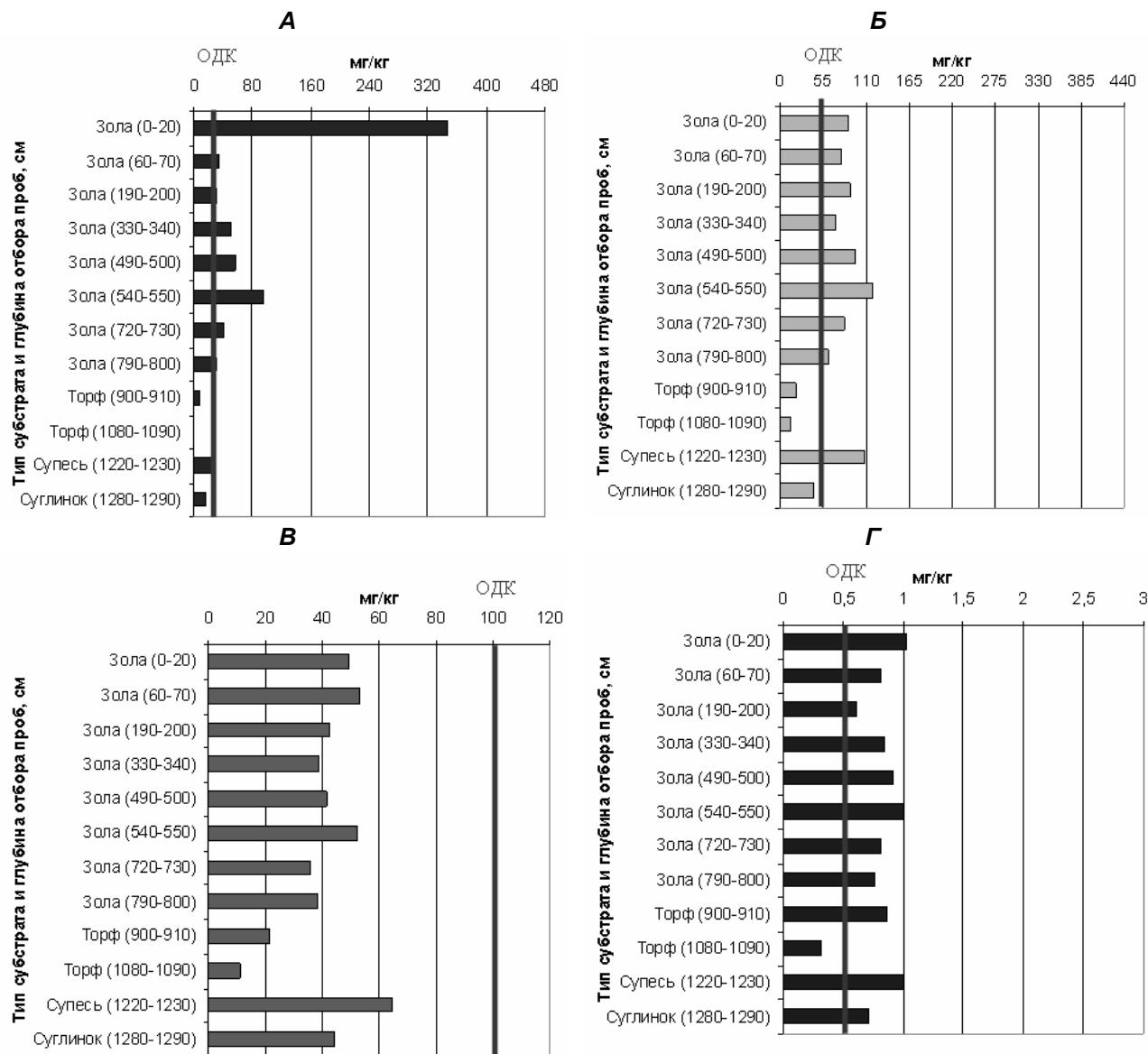
Высокая контрастность содержания металлов (коэффициент контрастности – 5–54) свидетельствует о неравномерном их содержании в техногенных грунтах золоотвала (рис. 5). Максимальные концентрации большинства тяжелых металлов приурочены к верхним насыпным грунтам перемешанным с золой. Данная особенность

Тяжелые металлы. Валовое среднее содержание тяжелых металлов в золе составило: хрома – 41,6 мг/кг (пределы содержания 23,3–54,6 мг/кг), кадмия – 1,0 (0,6–1,3), свинца – 13,2 (5,1–24,4), меди – 20,7 (9,4–36,2), никеля – 27,0 (14,6–95,3) и цинка – 50,0 (10,8–118,0) мг/кг. По сравнению с местным педогеохимическим фоном зола обогащена хромом в среднем в 1,2 раза, кадмием – 3,0, свинцом – 1,8, медью – 4,6, никелем – 5,7, цинком – в 2,3 раза (рис. 4).

В поверхностных насыпных грунтах среднее содержание тяжелых металлов изменяется в следующих пределах: хрома – 53,3 мг/кг (пределы 34,1–119,7), кадмия – 0,87 (0,5–1,14), свинца – 25,3 (10,9–45,0), меди – 23,5 (5,9–37,6), никеля – 108,2 (7,9–433,9), цинка – 102,2 (44,8–170,8 мг/кг).

связана со щелочной реакцией почвенного раствора и высоким содержанием органического вещества (более 10 %), что способствует аккумуляции металлов. С глубиной концентрация тяжелых металлов уменьшается и минимальна в подстилающих породах. В отложениях золы радиальное распределение микроэлементов относительно равномерное, среднее значение коэффициента контрастности (AP) для них в золе составило: хром – 2, кадмий – 1,6, свинец – 4, медь – 4, никель – 4, цинк – 8.

С целью выявления миграционной способности тяжелых металлов и оценки потенциальной опасности загрязнения наряду с валовыми формами определялось содержание подвижных форм тяжелых металлов.



**Рис. 5. Радиальное распределение тяжелых металлов в отложениях золоотвала (скважина № 7):
А – никеля, Б – цинка, В – хрома, Г – кадмия**

Установлено, что в золе их содержание составляет: хрома – 5,9–11,3 мг/кг, кадмия – < 0,5–1,0, свинца – 1,0–12,1, меди – 2,2–7,25, никеля – 5,6–14,1, цинка – 3,4–23,8 мг/кг. В перекрывающих золу техногенных отложений диапазон концентраций подвижных форм хрома составляет < 5,0–6,2 мг/кг, кадмия – < 0,5–0,94, свинца – 3,0–36,2, меди – 1,0–4,6, никеля – < 2,0–91,1, цинка – 2,7–97,7 мг/кг. В подстилающих породах содержание подвижных форм тяжелых металлов менее контрастно, чем в верхних грунтах и составляет: хрома – < 5,0–8,8 мг/кг, кадмия – < 0,5–0,61, свинца – 3,0–6,75, меди – 0,5–2,6, никеля – < 2,0, цинка – 1,1–11,8 мг/кг. Распределение подвижных форм микроэлементов в целом повторяет распределение их валовых содержаний. Доля подвижных форм тяжелых металлов от их вало-

вых содержаний изменяется в следующих пределах: хрома – 12–33 %, кадмия – 49–90, свинца – 5–80, меди – 4–21, никеля – 5–24, цинка – 3–63 %.

Сопоставление концентраций тяжелых металлов с ПДК/ОДК позволило выявить элементы, являющиеся приоритетными загрязнителями грунтов золоотвала. Превышение установленных нормативов [4, 14, 17] в поверхностных грунтах отмечается для всех исследуемых металлов. Наиболее часто превышение ПДК/ОДК наблюдается для валовых форм кадмия (83 % проб), цинка (83 %), подвижных форм кадмия (67 %) и свинца (67 %). Для остальных металлов доля проб с превышением установленных нормативов в поверхностных грунтах золоотвала менее 35 %.

В отложениях золы среди рассматриваемых тяжелых металлов приоритетными загрязнителями являются кадмий, медь и никель, для которых превышение установленных нормативов наблюдается в 92–100 % проанализированных проб. Высокая доля случаев загрязнения золы также отмечается для валовых форм никеля (92 %) и меди (75 %), подвижных форм хрома (75 %) и кадмия (50 %). В меньшей степени зола загрязнена цинком (28 % по валовому содержанию элемента) и свинцом (25 % проб по содержанию подвижных форм элемента). Для валовых содержаний хрома, свинца и подвижных форм цинка превышений установленных нормативов в золе золоотвала не наблюдается.

Для подстилающих зольные отложения пород наиболее высокая степень загрязнения характерна только для кадмия. Его валовое содержание в подстилающих породах в 100 % случаев превышает ОДК. Для остальных металлов, кроме хрома, подвижных меди, никеля и цинка, доля проб с превышением санитарно-гигиенических нормативов меньше 30 %. Для валовых содержаний хрома, подвижных форм меди, никеля и цинка превышений ПДК/ОДК в подстилающих и погребенных породах не наблюдается.

Таким образом, на территории золоотвала насыпные грунты и зола в значительной степени

загрязнены практически всеми рассматриваемыми тяжелыми металлами, концентрации которых в отдельных случаях превышают ПДК/ОДК более чем в 10 раз.

Воды золоотвала. Выполненные буровые работы показали, что в толще золоотвала сформировался устойчивый во времени водоносный горизонт мощностью от 5,2 до 7,7 м. Глубина залегания уровня воды от поверхности составляет 0,7–2,9 м.

Формирование водоносного горизонта в толще золоотвала обусловлено, с одной стороны, выпадением атмосферных осадков на поверхность золоотвала и их инфильтрацией в толщу отходов, с другой – водоупорными свойствами залегающих в ложе золоотвала суглинистых и супесчаных отложений. Ими же сложены ограждающие дамбы золоотвала.

Химический анализ проб воды, отобранных в ходе полевых исследований, показал, что воды техногенного горизонта, сформировавшегося в толще золоотвала, обогащены большинством определяемых макрокомпонентов и характеризуются выраженной гидрохимической трансформацией по сравнению с грунтовыми водами в естественных условиях (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав воды в толще золоотвала и подземных вод на прилегающей территории, мг/дм³

Тип воды	pH	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сухой остаток	Минерализация
Вода из толщи золоотвала (<i>n</i> = 7)	11,9	288	90,7	253,8	92,1	2,0	0,020	8,6	137,4	11,1	199,4	193,9	1315	1276,4
Фильтраты из золоотвала (<i>n</i> = 2)	11,2	330	207,5	81,7	54,0	1,2	0,066	11,6	24,1	7,3	168,0	306,0	968	1191,3
Грунтовая вода с территории индивидуальной застройки (<i>n</i> = 5)	7,5	н.о.	356,4	34,0	27,0	22,2	0,012	0,1	88,2	15,6	36,6	5,3	474	585,2
Межпластовые подземные воды из скв.5 режимной сети	7,96	158,7	н.о.	40,8	46,0	1,5	0,086	32,1	29,2	15,0	4,4	0,6	172	328,3
ПДК**	6,0–9,0	–	–	350	500	45,0	3,0	–	–	200	–	2,6	1000	1000
Фон***	7,1	149,3	–	5,6	4,9	1,1	–	30,0	9,1	3,6	1,2	–	215,6	215,6

*Н.о. – не обнаружено; ** ПДК в питьевых водах; *** по данным [10]

Так, pH воды, отобранной из скважин 1–5, изменяется в пределах 11,3–12,3, что позволяет классифицировать воды как сильнощелочные. Подтверждением высокой щелочности воды в толще золоотвала является pH фильтрата из юго-восточного борта золоотвала (проба 17, pH = 11,8), а также водной пробы 27 фильтрата из

северо-восточного борта золоотвала (проба 27, pH = 10,5). Щелочная реакция среды (pH = 8,9) характерна и для вод из обводной канавы золоотвала (проба 29).

Общая минерализация воды из скважин на территории золоотвала составляет 799,8–3499,3 мг/дм³, что позволяет классифицировать

воды как повышенной и высокой минерализации. При этом значения общей минерализации превышают ПДК в 1,1–3,5 раза (скважины 1, 3, 4) или близка к ПДК – 0,8–0,85 (скважины 2 и 5). Вследствие высокой щелочности воды содержание карбонатов (нетипичного макрокомпонента для природных вод на территории Беларуси) составляет 168–696 мг/дм³.

В воде из скважины 3 зафиксировано высокое содержание хлоридов и натрия – на уровне 4 ПДК, что, возможно, связано со складированием здесь солесодержащих отходов (NaCl и др.) или снега в более поздние сроки по отношению ко времени складирования золы. Воды из данной скважины наиболее загрязнены.

Отобранные из бортов золоотвала фильтраты (пробы 17 и 27) по химическому составу близки к водам сформировавшегося техногенного горизонта. Минерализация этих вод высокая (1113,0–1269,6 мг/дм³), содержание карбонатов достигает 204–456 мг/дм³.

Хотя общая минерализация воды из обводной канавы (проба 29) ниже по сравнению с водами из толщи золоотвала в химическом составе преобладают такие макрокомпоненты как карбонаты, хлориды, сульфаты, натрий и калий, содержание которых превышает фоновые значения в 12,8–82,5 раза, что указывает на загрязнение вод.

Во всех вышеперечисленных водных пробах зафиксировано превышение ПДК по аммонийному азоту в 1,5–6,6 раза.

Химический состав воды, отобранный на заболоченном участке между золоотвалом (к востоку от него) и территорией индивидуальной застройки (проба 19), характеризовался нейтральной реакцией среды (рН = 7,5), высокой

минерализацией (1,6 ПДК) и высоким содержанием сульфатов (1,5 ПДК). Как известно, заболоченные территории могут выступать в качестве барьера на пути миграции загрязняющих веществ, что приводит к их накоплению.

Анализ химического состава грунтовых вод, отобранных за пределами золоотвала на территории прилегающей индивидуальной застройки (пробы 16 и 20), показал, что они характеризуются средней минерализацией, нейтральной или слабощелочной реакцией среды. По сравнению с водами золоотвала они трансформированы в меньшей степени, однако, обогащены натрием, хлоридами и сульфатами по сравнению с химическим составом вод в фоновых условиях, что характерно для грунтовых вод в зонах индивидуальной застройки. Превышений санитарно-гигиенических нормативов в грунтовых водах на территории жилой зоны не выявлено.

Наиболее наглядно трансформация химического состава вод отражается с помощью формулы Курлова, в которой приводится соотношение содержания ионов, выраженное в %-эквивалентах (табл. 5). Как известно, ненарушенные грунтовые подземные воды в условиях Беларуси имеют гидрокарбонатный кальциевый тип вод. Анализ полученных данных выявил резкуюazonальность воды техногенного горизонта, сформировавшегося в толще золоотвала, фильтров, а также воды из обводной канавы. Так, содержащиеся в толще золоотвала воды, как правило, имеют карбонатный калиево-кальциевый с высокой долей натрия или карбонатный натриево-кальциево-калиевый состав. Из-за высокого содержания хлоридов, воды из скважины 3 относятся к хлоридному кальциево-натриевому типу.

Таблица 5. Состав и тип воды

№ пробы	Состав воды			Тип воды
Вода из техногенного горизонта в толще золоотвала				
Скв. 1	M _{1,1}	CO ₃ 58 Cl 24 HCO ₃ 9 SO ₄ 9		Карбонатная калиево-кальциево-натриевая
		Na 36 Ca 29 K 27 Mg 4 NH ₄ 4		
Скв. 4	M _{1,5}	CO ₃ 88 HCO ₃ 6 Cl 5 SO ₄ 1		Карбонатная калиево-кальциевая
		Ca 45 K 28 Na 21 Mg 3 NH ₄ 3		
Фильтраты из золоотвала				
17	M _{1,3}	CO ₃ 76 HCO ₃ 12 SO ₄ 8 Cl 4		Карбонатная калиево-натриевая
		Na 41 K 40 Ca 5 NH ₄ 5 Mg 4		
27	M _{1,1}	CO ₃ 43 HCO ₃ 28 Cl 25 SO ₄ 4		Хлоридно-гидрокарбонатно-карбонатная натриево-калиевая
		K 51 Na 42 Ca 3 Mg 3 NH ₄ 1		
Грунтовая вода с территории индивидуальной застройки				
16	M _{0,5}	HCO ₃ 88 Cl 8 SO ₄ 3 NO ₃ 1		Гидрокарбонатная натриево-кальциевая
		Ca 44 Na 37 Mg 19		
21	M _{0,6}	HCO ₃ 79 NO ₃ 11 Cl 6 SO ₄ 4		Гидрокарбонатная кальциевая
		Ca 75 Mg 17 Na 8		
Вода из скважины 5 режимной сети наблюдения				
28	M _{0,3}	HCO ₃ 55 Cl 24 SO ₄ 20 NO ₃ 1		Гидрокарбонатная кальциево-магниевая
		Mg 50 Ca 33 Na 14 K 2 NH ₄ 1		

Наиболее близки к зональному типу воды из колодца (проба 16) и из шурфа (проба 20) на приусадебных участках вблизи золоотвала, что свидетельствует о незначительном влиянии золоотвала на химический состав грунтовых вод на территории прилегающей индивидуальной застройки.

В табл. 6 приведены данные по содержанию в водных пробах тяжелых металлов, нефтепродуктов, СПАВ и др. Анализ данных выявил загрязнение грунтовых вод железом общим, алюминием, нефтепродуктами, свинцом и никелем. Так, воды водоносного горизонта в толще золоотвала содержат нефтепродукты в концентрациях, превышающих ПДК в 1,3–7,7 раза, свинец – в 1,1–1,4 раза, никель – в 5,5–9,1 раза и алюминий – в 1,7–7,4 раза. Для этих же веществ

зафиксировано превышение ПДК в фильтратах из борта золоотвала: нефтепродуктов – в 1,5 раза, никеля – 6,4–7,4 раза, алюминия – в 1,4–2,2 раза. В воде из обводной канавы содержание нефтепродуктов превысило ПДК в 2,6 раза.

Грунтовая вода с территории жилой зоны, примыкающей с юга и юго-востока к золоотвалу, характеризуется содержанием тяжелых металлов, близким к фоновым и значительно ниже предельно допустимых в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что вода в толще золоотвала сильно загрязнена, без очистки пригодна только для технических целей и не может быть сброшена в открытую гидрографическую сеть без предварительной очистки.

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в воде в толще золоотвала, мг/дм³

Номер пробы	Фосфор фосфатный	Железо общее	Желе-зо 3-х валентное	Алюминий	Хром общий	Нефтепро-дукты	СПАВ	Ко-бальт	Кад-мий	Сви-нец	Медь	Ни-кель	Цинк
Вода из толщи золоотвала (<i>n</i> = 7)	0,015	4,88	4,20	2,08	< 0,02	0,24	0,13	0,013	0,005	0,034	0,014	0,68	0,03
Фильтраты из золоотвала (<i>n</i> = 2)	0,007	0,18	0,07	0,90	< 0,02	0,15	0,06	0,011	0,008	0,023	0,018	0,69	0,06
Грунтовая вода с территории жилой зоны (<i>n</i> = 5)	0,020	0,34	0,13	0,35	< 0,02	0,01	< 0,02	0,006	0,001	0,022	0,007	0,01	0,05
Межпластовые подземные воды из скв. 5 режимной сети	0,005	3,13	0,06	0,26	< 0,02	0,04	< 0,02	0,005	< 0,001	0,016	0,025	0,01	0,06
ПДК	–	0,3	–	0,5	0,05	0,1	0,5	0,1	0,001	0,03	1,0	0,1	5,0

Оценка возможных последствий размещения усадебной застройки на золоотвале. В случае размещения усадебной застройки на территории золоотвала степень рисков для населения и окружающей среды возрастет.

Наибольший риск для населения будет связан с использованием загрязненных субстратов (почво-грунтов) для выращивания сельскохозяйственных растений и, как следствие, накоплением тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в растительной продукции выше допустимых уровней. Близкие от поверхности уровни содержащихся в золоотвале вод и их подъем в периоды таяния снега и обильных дождей будут вызывать подтопление цокольных этажей и подвальных помещений, что потребует сброса загрязненных вод с золоотвала и, как следствие, вызовет загрязнение поверхностных вод.

Загрязнение почвы ограничивает возможности ее использования для определенных видов деятельности. Как показано ранее, зола и насыпные грунты в пределах золоотвала загряз-

нены тяжелыми металлами и ПАУ до уровней в десятки и сотни раз превышающих предельно допустимые концентрации химических веществ для почв жилых зон. В этой связи жилая усадебная застройка на данной территории не может быть размещена без специальной подготовки территории. Учитывая, что техногенные грунты, включая золу, загрязнены по всей толще, жилая застройка может быть размещена здесь только после полного изъятия и вывоза золы.

Примеры размещения жилой застройки на золоотвалах авторами не выявлены. В то же время имеются многочисленные примеры очистки территорий от накоплений золы для размещения жилой застройки в Москве, Санкт-Петербурге и других городах. В законодательстве Москвы имеется статья, согласно которой запрещается размещение жилой застройки на территории свалок и золотвалов.

Вариант размещения застройки на рассматриваемой территории с изъятием золы возможен, однако он трудно реализуем из-за боль-

ших материальных затрат на вывоз золы (около 2 млн т) и очистку территории. Кроме того, понадобятся значительные ресурсы на очистку загрязненных вод, содержащихся в толще золоотвала.

Принятые в последние годы дифференцированные нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в землях (почвах) в зависимости от функционального использования являются менее жесткими для промышленных и транспортных зон по сравнению с жилыми. В этой связи наиболее целесообразным представляется размещение на рассматриваемой территории общественной или транспортно-логистической инфраструктуры, гаражей, складских зон по аналогии с уже освоенной центральной частью золоотвала.

Строительство зданий и сооружений, дорог и подъездных путей и, тем самым, создание не-проницаемых территорий уменьшит инфильтрацию дождевых и талых вод в толщу отходов и снизит уровень вод в толще золы. Это в свою очередь будет способствовать самоочищению приповерхностного горизонта почво-грунтов от загрязняющих веществ.

Заключение

1. Комплексное изучение золоотвала ТЭЦ показало, что на его территории насыпные грунты и зола в значительной степени загрязнены тяжелыми металлами и ПАУ, концентрации которых в отдельных случаях превышают ПДК/ОДК в десятки и сотни раз. Вода в толще золоотвала

имеет сильнощелочную среду, загрязнена аммонийным азотом, нефтепродуктами, никелем, алюминием; без очистки пригодна только для технических целей и не может быть сброшена в открытую гидрографическую сеть без предварительной очистки.

2. Несмотря на сильное загрязнение вод техногенного горизонта в толще золоотвала его влияние на грунтовые воды прилегающей территории минимально. Данные воды могут использоваться для хозяйствственно-бытовых нужд.

3. Размещение усадебной застройки на территории золоотвала связано с риском для населения и окружающей среды, что обусловлено возможным использованием загрязненных субстратов для выращивания сельскохозяйственных растений и, как следствие, накоплением загрязняющих веществ в растительной продукции выше допустимых уровней. Близкие от поверхности уровни содержащихся в золоотвале вод и их подъем в периоды таяния снега и обильных дождей будут вызывать подтопление цокольных этажей и подвальных помещений, что потребует сброса загрязненных вод с золоотвала и, как следствие, вызовет загрязнение поверхностных вод.

Наиболее целесообразным представляется размещение на рассматриваемой территории общественной или транспортно-логистической инфраструктуры, гаражей, складских зон по аналогии с уже освоенной центральной частью золоотвала.

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 : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Ю. Д. Алимбаева. Красноярск, 2007.
3. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт [и др.]. М., 1990.
4. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве // Сборник нормативных документов по разделу коммунальной гигиены / М-во здравоохранения РБ. Минск, 2005.
5. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М. А. Глазовская. М., 2007.
6. Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами», принятый 20 июля 2007 г., № 271-3.
7. Каар, Э. В. Озеленение золоотвалов тепловых электростанций в Эстонской ССР. Рекультивация земель / Э. В. Каар. Тарту, 1975. С. 142–147.
8. Касимов, Н. С. Экогохимия городских ландшафтов / Н. С. Касимов. М., 1995.
9. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь (утв. постановлением М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ 08.11.2007 № 85 (в редакции от 30.06.2009 № 48)).
10. Кудельский, А. В. Пространственная структура слоя пресных подземных вод на территории Беларуси / А. В. Кудельский, О. Н. Шпаков, Л. Д. Лебедева // Докл. АНБ. 1995. Т. 39, № 1. С. 105–108.
11. Кутепова, Н. А. Изучение отложений золоотвалов ТЭЦ в связи с инженерной подготовкой территории под строительство / Н. А. Кутепова, Ю. И. Кутепов, Ф. П. Стрельский. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 1. С.14–28.
12. Методика выполнения измерений содержания мышьяка, кадмия, хрома, кобальта, меди, свинца, никеля, селена, сурьмы, ванадия, марганца, олова, молибдена, цинка, железа методом атомно-абсорбционной спектроскопии. МВИ. МН 1137-99. Минск, 1999.
13. Нормативы предельно допустимых концентраций валового содержания ртути и мышьяка в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. Утв. Постановлением Минздрава РБ от 29.04.2009 № 44.
14. 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. Утв. Постановлением Минздрава РБ от 19.11.2009 № 125.

15. Петухова, Н. Н. Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Природные ресурсы. 1999. № 4. С 40–49.
16. **Предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в почвах для различных категорий земель.** Утв. Постановлением Минздрава РБ от 29.04.2009 № 44.
17. **Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения.** Утв. Постановлением Минздрава РБ от 6.11.2008, № 187.
18. **Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши** / Под ред. А. Д. Семенова. Л., 1977.
19. СанПиН 2.1.7.12-42-2005. Гигиенические требования к накоплению, транспортированию и захоронению токсичных промышленных отходов.
20. **Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь.** В 3 ч. Минск, 2005.
21. **Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь.** Минск, 1997. Ч. I-II.
22. **Состояние природной среды Беларуси : экол. бюлл. 2005–2009 г.** Минск, 2006–2010.
23. Хомич, В. С. Экогохимия городских ландшафтов Беларуси / С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. Минск, 2004.

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

Поступила в редакцию 28.05.2012

**В. С. Хомич, Д. Ю. Городецкий, Е. П. Овчарова,
В. С. Рыжиков, С. В. Савченко, Г. М. Бокая, П. В. Курман**

ЗОЛООТВАЛЫ ТЭЦ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

На основании детальных эколого-геохимических исследований золоотвала Витебской ТЭЦ, сформированного из золы от сжигания торфа, рассмотрены уровни накопления и радиального распределения тяжелых металлов, ПАУ и нефтепродуктов в толще золы, изучен ионный состав и концентрация тяжелых металлов в воде, содержащейся в толще золоотвала. Выявлены высокие уровни загрязнения золы тяжелыми металлами и ПАУ, концентрации которых в отдельных случаях превышают ПДК/ОДК в десятки и сотни раз, и воды в толще золоотвала, которая имеет сильнощелочную среду, загрязнена аммонийным азотом, нефтепродуктами, никелем, алюминием. Показано, что размещение усадебной застройки на территории золоотвала связано с риском для населения и окружающей среды. Наиболее целесообразным представляется размещение на рассматриваемой территории общественной или транспортно-логистической инфраструктуры, гаражей, складских зон по аналогии с уже освоенной центральной частью золоотвала.

**V. S. Khomich, D. Yu. Gorodetskiy, E. P. Ovcharova
V. S. Ryzhikov, S. V. Savchenko, G. M. Bokaya, P. V. Kurman**

TPP ASH DUMPS AS A POTENTIAL SOURCES OF THE ENVIRONMENT POLLUTION

On the basis of the detailed ecology-chemical researches of ash dump of Vitebsk TPP, formed from the ash of burnt peat, levels of accumulation and radial distribution of heavy metals, PAH and oil products in the ash thickness were regarded, the ion composition and concentration of heavy metals in water, containing in the thickness of ash dump were studied. High levels of ash pollution with heavy metals and PAH have been revealed, the concentrations of which in some cases exceed MPC/APC tens and hundreds times, and water pollution in the thickness of ash dump, which is of strongly-alkali medium, polluted with nitrate ammonium, oil products, nickel, aluminum. It has been shown that location of country estate on the territory of ash dump is linked with risk for population and environment. It is considered as most expedient to place on the regarded territory a public or transport-logistical infrastructure, garages, storehouse zones by analogy with already developed central ash dump part.

УДК 504.054

Т. И. Кухарчик, Т. Л. Лапко

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Показано пространственное распределение накопленных запасов полихлорированных бифенилов в составе электрооборудования на территории Беларусь в разрезе населенных пунктов, административных районов и областей. Приведены данные о ПХБ, дифференцированные по группам гомологов и диоксинолободным соединениям. Проанализированы региональные различия в изменении объемов ПХБ в выведенном из эксплуатации оборудовании за период с 2005 по 2011 г.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) в качестве диэлектрической жидкости широко использовались в электротехнической промышленности и, получившие впоследствии название ПХБ-содержащие конденсаторы и трансформаторы, в настоящее время являются основным источником поступления опасных химических веществ в окружающую среду. ПХБ относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ), обращение с которыми регулируется Стокгольмской конвенцией о СОЗ (2001). Тот факт, что более 150 стран являются Сторонами Конвенции, свидетельствует о признании необходимости объединения усилий и экологически безопасного регулирования и контроля СОЗ на глобальном уровне. В перечне основных обязательств, касающихся ПХБ, следует отметить выявление и прекращение использования ПХБ-содержащего оборудования с последующим его полным уничтожением.

Беларусь является Стороной Конвенции с 2004 г. За годы после подписания Конвенции в Беларусь произошли значительные изменения в области обращения с ПХБ: разработан ряд нормативных документов, ведется сбор и обновление информации о количестве и состоянии оборудования, о загрязненных территориях [2, 3, 5–7]. Значительная работа проделана в отношении организации хранения выведенного из эксплуатации ПХБ-содержащего оборудования, его упаковки; начаты работы по очистке загрязненных территорий [4, 5]. В 2010 г. с Минского автомобильного завода вывезено 19 т ПХБ-содержащих конденсаторов на утилизацию в Германию; вывоз ПХБ-содержащего оборудования на утилизацию в страны Западной Европы запланирован также в рамках выполнения полномасштабного проекта Глобального экологического фонда (ГЭФ), который реализуется с 2010 г.

Вместе с тем ПХБ-содержащее оборудование, согласно Стокгольмской конвенции, может использоваться до 2025 г. Данное обстоятельство, а также большие объемы накопленных запасов ПХБ в стране свидетельствуют об актуаль-

ности продолжения работ по выявлению оборудования и мест его локализации, пространственному анализу распределения ПХБ. Важное значение имеет определение изменений объемов ПХБ на локальном и региональном уровнях в связи с выводом оборудования из эксплуатации, перемещением его на хранение или вывозом на утилизацию. От полноты и детальности данных о ПХБ в значительной степени зависят последующие работы по разработке оптимальных технологических и логистических схем для внедрения системы сбора и утилизации ПХБ, а также природоохранных мероприятий по минимизации экологического риска.

Цель работы – показать пространственные особенности распределения ПХБ в составе электрооборудования на территории Беларусь с учетом обновленных данных, определить регионы наибольшего экологического риска, обусловленного использованием высококлорированных соединений ПХБ.

В качестве исходных данных использованы результаты выполненных ранее инвентаризаций ПХБ в Беларусь, в том числе полученные в рамках задания 7.3.18 ГНТП «Экологическая безопасность» (2003–2004 гг.), проекта GEF TF053865 «Первоочередные мероприятия по выполнению Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях (СОЗ) в Республике Беларусь» (2005–2006 гг.), а также обновления данных о ПХБ, полученные в 2007–2011 гг. при реализации мероприятий Национальных планов.

Для оценки количества накопленных ПХБ по группам гомологов и изомерам принимался во внимание состав промышленных смесей (табл. 1). Согласно [11, 12], в составе трихлордифенила и Клофена A30 преобладают соединения группы трихлорбифенилов (49–55 %), также значительна доля тетрахлорбифенилов (25–32 %) и дихлорбифенилов (14–16 %). В составе совола и Клофена A30 доминируют высококлорированные соединения групп пента-, гекса- и гептахлорбифенилов. Были приняты следующие допущения: дизлектрик в импортных

трансформаторах принят как Клофен 60, в импортных конденсаторах – Клофен 30, в советских конденсаторах, произведенных до 1970 г. – совтол, с 1971 г. и далее – трихлордифенил, в конденсаторах, для которых год не определен, – трихлордифенил, в советских трансформаторах – совтол. Учтено было то, что совтол-10, которым заполняли трансформаторы, представляет собой смесь совола с 1,2,4-трихлорбензолом в соотношении 9:1 [1]. При оценке объемов ПХБ

учитывались конденсаторы, переведенные в категорию «Отходы».

Для оценки количества диоксиноподобных ПХБ использованы данные по составу ПХБ-содержащих жидкостей [12] и коэффициенты токсичности, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения (2005) [13]. За единицу токсичности принял токсический эффект 2,3,7,8-ТХДД.

Таблица 1. Состав коммерческих жидкостей на основе ПХБ по группам гомологов и диоксиноподобным изомерам, % [11, 12]

Гомологи, диоксиноподобные соединения	Clophen (ФРГ) A30	Clophen (ФРГ) A60	Совол	Трихлордифенил
Монохлорбифенилы	0,03	0,003	0,016	–
Дихлорбифенилы	16	0,027	0,1	14
Трихлорбифенилы	55	0,1	0,49	49
Тетрахлорбифенилы	25	1	16	32
Пентахлорбифенилы	2,5	16	52	4
Гексахлорбифенилы	0,6	54	28	1
Гептахлорбифенилы	0,3	28	2,4	–
Октахлорбифенилы	0,05	0,25	0,1	–
Нанохлорбифенилы	–	0,081	0,0082	–
Декахлорбифенилы	–	0,0018	0,00045	–
ПХБ 81	–	–	–	–
ПХБ 77	0,32	0,025	0,1	0,31
ПХБ 123	0,021	0,42	0,24	0,029
ПХБ 118	0,25	1,1	8,6	0,59
ПХБ 114	0,023		0,27	0,057
ПХБ 105	0,21	0,096	4,1	0,41
ПХБ 126	–	–	–	0,0084
ПХБ 167	0,0066	0,49	0,67	0,0076
ПХБ 156	0,018	1,1	1,5	0,019
ПХБ 157	0,0032	0,096	0,26	0,0049
ПХБ 169	–	–	–	–
ПХБ 189	0,0034	0,21	0,035	–

Обновление данных о ПХБ показало, что в настоящее время в Беларуси общий объем ПХБ оценивается в 1562,8 т (в оборудовании, находящемся в эксплуатации или выведенном из эксплуатации). Всего выявлено 53,3 тыс. ПХБ-содержащих конденсаторов и 302 трансформатора (без учета оборудования, переведенного в отходы). Для сравнения отметим, что в странах с близким промышленным потенциалом и сопоставимых по населению насчитывается примерно столько же ПХБ-содержащего оборудования. Например, в Болгарии в ходе инвентаризации 2003 г. в рамках ГЭФ выявлено около 2 тыс. т промышленных жидкостей на основе ПХБ [10]. В

Словакии выявлено 400 трансформаторов, около 30 тыс. силовых конденсаторов с общим объемом ПХБ 1,5 тыс. т [8].

В Беларуси владельцы ПХБ-содержащего оборудования рассредоточены по всей территории страны, хотя распределение ПХБ по административным областям весьма неравномерное. Наибольшие объемы ПХБ сконцентрированы в Минской (включая Минск) и Могилевской областях – 532,3 и 402,9 т соответственно, из которых 61 и 74 % представлено ПХБ-содержащими жидкостями в трансформаторах. Менее всего ПХБ оказалось в Гродненской области – 124,9 т (рис. 1).



Рис. 1. Масса ПХБ в конденсаторах и трансформаторах в разрезе административных областей и Минска, т (по состоянию на 2011 г.)

Всего в Беларусь выявлено более 800 предприятий – владельцев ПХБ-содержащего оборудования, которые находятся более чем в 160 населенных пунктах. Среди населенных пунктов максимальные объемы ПХБ выявлены в Бобруйске (302,4 т) и Минске (299 т) – 37,7 % от общего количества ПХБ в Беларусь. Насчитываются более 20 населенных пунктов с объемами ПХБ более 10 т, суммарная масса ПХБ в которых составляет 88 % от общего количества ПХБ в стране.

Согласно Стокгольмской конвенции, каждая Сторона принимает на себя обязательство не применять ПХБ-содержащее оборудование в местах, связанных с производством и переработкой продовольствия или кормов. В статье [9] обобщены данные о случаях загрязнения продуктов питания СОЗ, в том числе ПХБ, и их последствиях, приведены примеры серьезных инцидентов, произошедших в 1999 г. в Бельгии (так называемый Бельгийский диоксиновый кризис), в 2007 г. в Индии и др. Случаи загрязнения пищи и отравления людей полихлорированными бифенилами свидетельствуют о необходимости максимально возможного исключения непосредственного контакта продуктов питания и кормов для животных с опасными веществами.

Выполненные исследования показали, что в Беларусь насчитывается около 80 населенных пунктов и около 130 предприятий по производству продуктов питания и комбикормов, переработке сельскохозяйственной продукции (рис. 2). Всего на предприятиях данной отрасли насчитывается 3,5 тыс. ед. ПХБ-содержащих конденсато-

ров, 18 ед. – трансформаторов с общим объемом ПХБ 87 т. Максимальная масса ПХБ на таких предприятиях выявлена в Новополоцке – более 35 т. В 15 городах объемы ПХБ на предприятиях данной категории варьируют от 1 до 10 т. При высокой рассредоточенности предприятий достаточно четко прослеживается их приуроченность к крупным авто- и железнодорожным магистралям, прежде всего по направлениям Брест–Орша и Гомель–Витебск. Это обстоятельство следует учитывать при планировании работ по сбору и вывозу ПХБ-содержащего оборудования.

Особое значение имеет пространственный анализ распределения выведенного из эксплуатации оборудования как с точки зрения его опасности, так и необходимости принятия мер по сбору, организации хранения и другим природоохранным действиям.

В 2011 г. в Беларусь общий объем ПХБ в выведенном из эксплуатации оборудовании составлял 520 т, или 34 % общего объема накопленных ПХБ. К настоящему времени выведено из эксплуатации и/или находится в резерве 26,6 тыс. силовых конденсаторов (47 % их общего количества) и 38 трансформаторов (13 %). По количеству выведенных из эксплуатации трансформаторов лидирует г. Минск, далее идет Могилевская область (табл. 2). В Гродненской и Брестской областях выведенные из эксплуатации трансформаторы отсутствуют. Больше всего выведенных из эксплуатации конденсаторов накопилось в Гомельской и Гродненской областях: соответственно 6,9 и 6,1 тыс. ед.



Рис. 2. Распределение массы ПХБ на предприятиях пищевой промышленности по населенным пунктам Беларуси, т

Таблица 2. Информация о выведенных из эксплуатации ПХБ-содержащих трансформаторах и конденсаторах в Беларуси (по состоянию на 2011 г.)

Область	Силовые трансформаторы		Силовые конденсаторы		Емкости с ПХБ
	количество, ед.	объем ПХБ, т	количество, тыс.ед.	объем ПХБ, т	
Брестская	–	–	3,1	52,2	–
Витебская	2	2,0	2,4	42,0	23,8
Гомельская	6	8,2	6,9	96,3	–
Гродненская	–	–	6,1	76,9	–
Минск	17	68,1	2,8	37,5	1,3
Минская	1	0,2	3,0	47,3	0,1
Могилевская	12	19,1	2,4	37,0	7,9
Всего	38	97,7	26,6	389,2	33,0

По сравнению с 2005 г. количество выведенных из эксплуатации конденсаторов увеличилось на 13,6 тыс. ед., трансформаторов – на 2 ед., объем ПХБ в выведенном из эксплуатации оборудовании увеличился на 130 т. Это связано со значительным износом ПХБ-содержащего оборудования. Анализ имеющихся данных в разрезе административных районов показал весьма неоднородную картину изменения объемов ПХБ в выведенном из эксплуатации оборудовании (рис. 3).

Так, выявлено 52 района, где объемы ПХБ увеличились, 21 район, где объемы ПХБ уменьшились, и 32 района, где ситуация с выведенным оборудованием не изменилась (в 19 районах ПХБ-содержащее оборудование не выявлено).

Установлено, что за период с 2005 по 2011 г. в 7 районах (Бешенковичском и Ушачском Витебской области, Зельвенском – Гродненской, Глусском, Кличевском, Хотимском и Чериковском – Могилевской области) ПХБ-содержащее оборудование (конденсаторы) полностью выведены из эксплуатации, демонтированы и вывезены на хранение в другие районы. Это означает, что бывшие площадки установки или хранения ПХБ-содержащих конденсаторов должны оставаться в перечне потенциально загрязненных площадок, в отношении которых необходимы меры по оценке загрязнения и возможно – очистке.

В свою очередь, в ряде районов (Борисовском и Вилейском Минской области; Волковысском, Лидском и Сморгонском – Гродненской,

Витебском и Глубокском – Витебской, Брестском – Брестской и Мозырском – Гомельской области) увеличение объемов ПХБ произошло не только за счет процессов вывода оборудования собственно на предприятиях района, но и его ввозом на хранение из других районов. Установлено, что максимальное увеличение объемов ПХБ (более чем на 10 т) характерно для районов, где размещены крупные промышленные центры (см. рис. 3).

Распределение накопленных ПХБ в Беларуси по группам гомологов, рассчитанное в целом для страны, показано на рис. 4. Наибольший вклад (76 %) в массу ПХБ вносят три группы гомологов: три-, тетра- и пентахлорбифенилов с

примерно одинаковым соотношением – 26, 24, 26 % соответственно.

Распределение гомологов ПХБ по областям соответствует преобладающему типу оборудования. Так, в Минской (включая Минск) и Могилевской областях преобладающим типом ПХБ – содержащего оборудование являются трансформаторы, что соответствует преобладанию пентахлорбифенилов – 33–37 % от суммы групп гомологов. В остальных областях наибольшая доля по группам гомологов принадлежит трихлорбифенилам – 30–48 %, что соответствует доминирующему количеству конденсаторов (рис. 5).

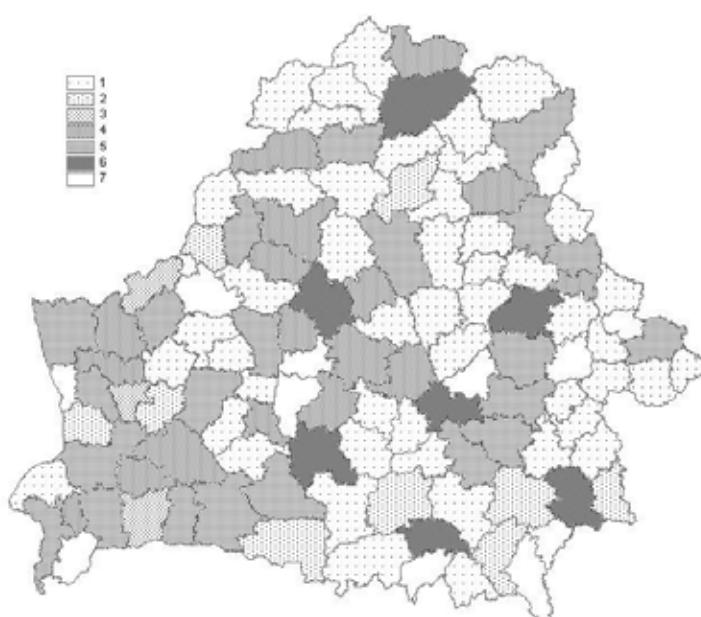


Рис. 3. Изменение объемов ПХБ в выведенном из эксплуатации оборудовании по административным районам Беларуси за период с 2005 по 2011 г.: 1 – без изменения ситуации; 2 – уменьшение в диапазоне 0,1–1,0 т; 3 – уменьшение объема в диапазоне 1,0–10 т; 4 – увеличение объема в диапазоне 0,1–1,0 т; 5 – увеличение объема в диапазоне 1,0–10 т; 6 – увеличение объема более чем на 10 т; 7 – оборудование с ПХБ не выявлено

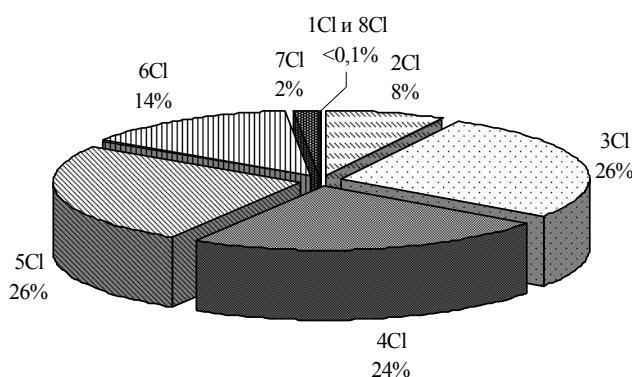


Рис. 4. Распределение объема ПХБ по группам гомологов

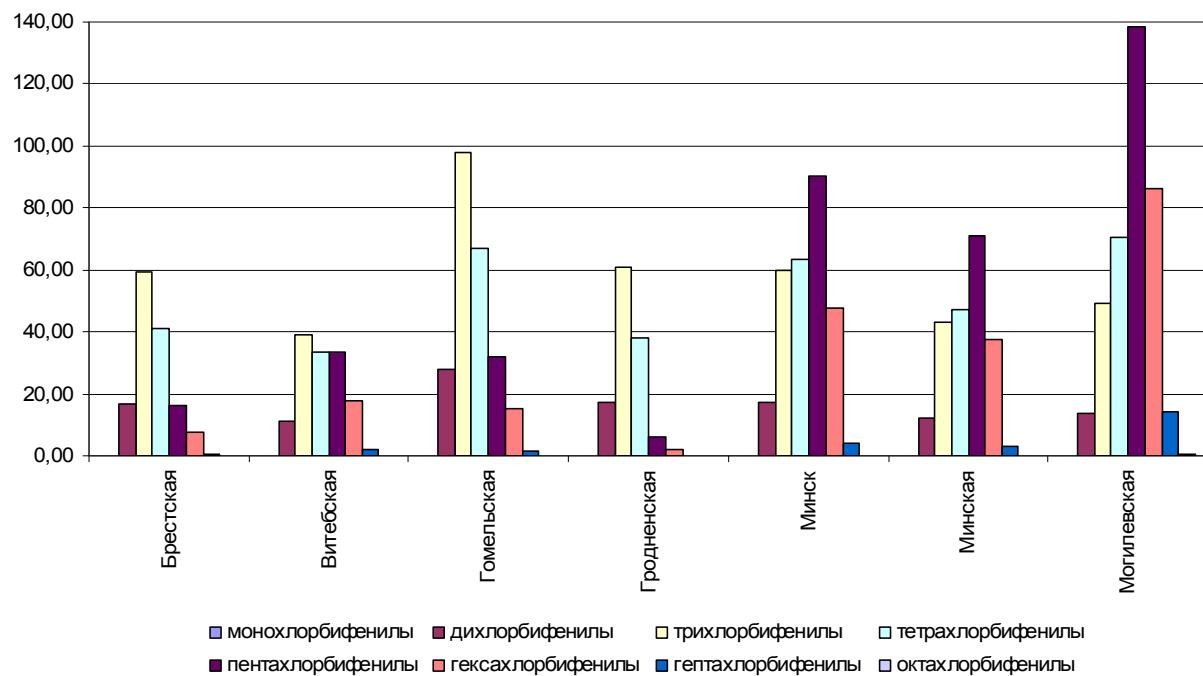


Рис. 5. Распределение ПХБ по группам гомологов в разрезе административных областей и Минска, т

Распределение ПХБ по административным районам выглядит также довольно неоднородно. Значительные количества ПХБ сконцентрированы в центральной и южной частях страны. ПХБ не выявлены в 19 районах. Наибольшими объемами выделяются Минск и Бобруйский район, на которые приходится более 279 и 275 т ПХБ соответственно. Значительные объемы накопленных ПХБ (суммарно 30 %) выявлены еще в 6 районах страны: Гомельском, Полоцком, Могилевском, Борисовском, Лидском и Смолевичском (рис. 6).

О различных рисках в случае техногенных катастроф в результате утечки ПХБ свидетельствует разное распределение гомологов полихлорированных бифенилов, связанное как с массой накопленных химикатов, так и с типом промышленной смеси (типом оборудования). Наибольшая масса ПХБ группы трихлорбифенилов сосредоточена в Минске и Гомельском районе (14 и 13,6 % от суммы трихлорбифенилов по стране). Большие объемы трихлорбифенилов характерны также для 17 административных районов, половина из которых расположена в Полесье. Как известно, трихлорбифенилы обладают повышенной летучестью и растворимостью по сравнению с высокохлорированными соединениями ПХБ. Поэтому для данного региона особенно актуальны меры по предотвращению попадания ПХБ с утечками в почву и близко расположенные к поверхности грунтовые воды.

Прослеживается сходная картина пространственного распределения пента- и гексахлорбифенилов: максимальные их объемы полу-

ченены для Бобруйского района и Минска (соответственно 32 и 23 % от суммы пентахлорбифенилов по стране), что обусловлено использованием здесь значительного количества ПХБ-содержащих трансформаторов. На втором месте по объемам накопленных высокихлорированных соединений находятся Молодечненский, Жодинский, Смолевичский, Жлобинский, Могилевский, Брестский и Новополоцкий районы. Достаточно мозаичная картина в распределении данных соединений определяется местоположением крупных предприятий машиностроения и металлообработки, а также рядом пожароопасных производств (производство шин, меховых изделий, нефтеперерабатывающие предприятия и др.).

Из общего объема выявленных ПХБ в Беларуси 127,4 т относятся к диоксиноподобным. Это соответствует примерно 19 кг диоксинов в пересчете на токсический эквивалент (ТЭ). Наибольший вклад (79 %) в массу диоксиноподобных ПХБ вносит ПХБ-118 (53 %), на втором месте – ПХБ-105 (26 %).

В пространственном распределении диоксиноподобных ПХБ, как в целом ПХБ, также отмечается мозаичность (рис. 8). Наибольшее количество диоксиноподобных ПХБ характерно для Минского, Бобруйского и Гомельского районов, где их объем в токсическом эквиваленте составляет 1,6, 1,3 и 1 кг соответственно. Достаточно значительные объемы опасных токсикантов (0,5–0,6 кг ТЭ) накоплены в Могилевском, Полоцком и Лидском районах (рис. 7).

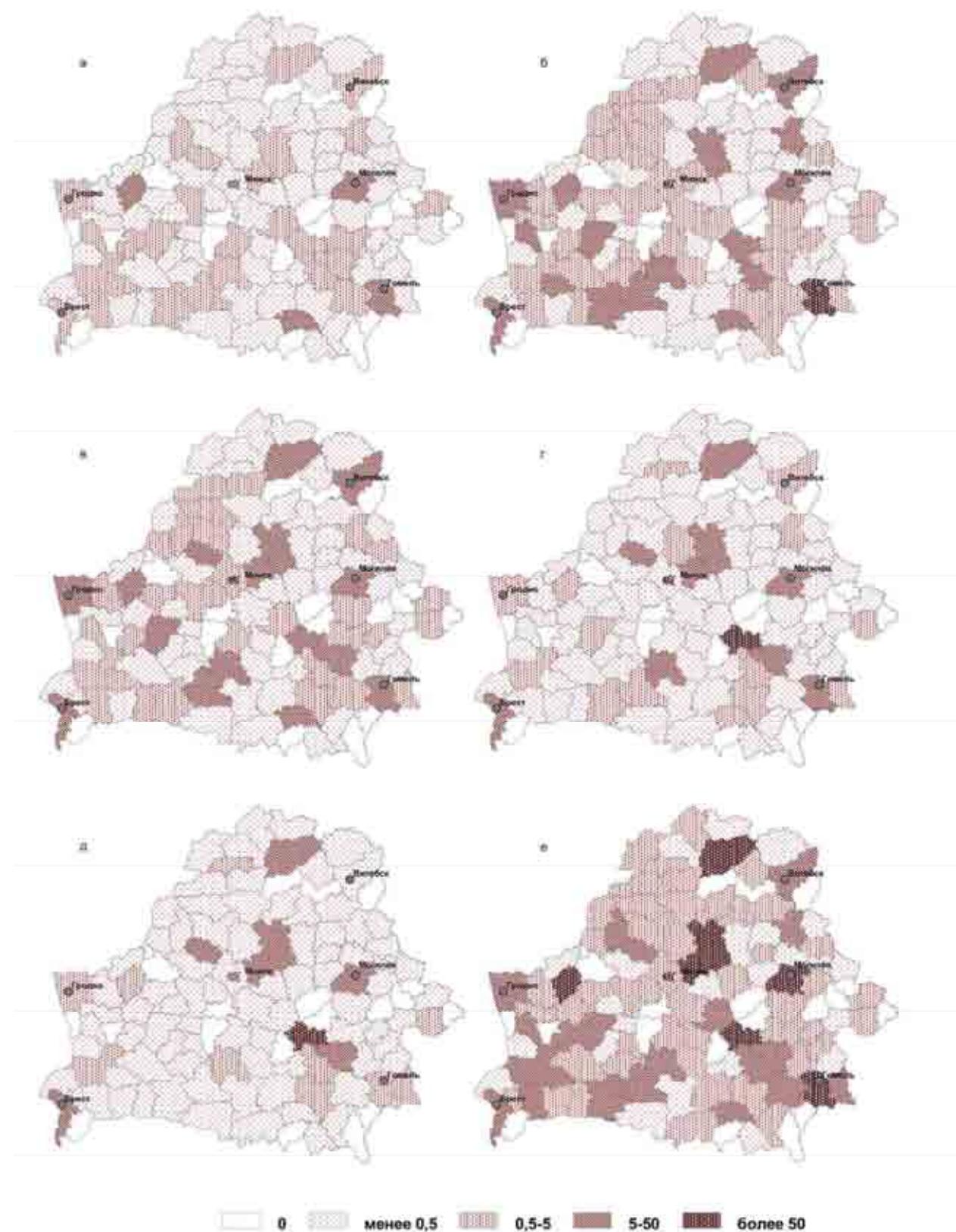


Рис. 6. Распределение ПХБ по группам гомологов в разрезе районов, т: а – дихлорбифенилы, б – трихлорбифенилы, в – тетрахлорбифенилы, г – пентахлорбифенилы, д – гексахлорбифенилы, е – сумма гомологов

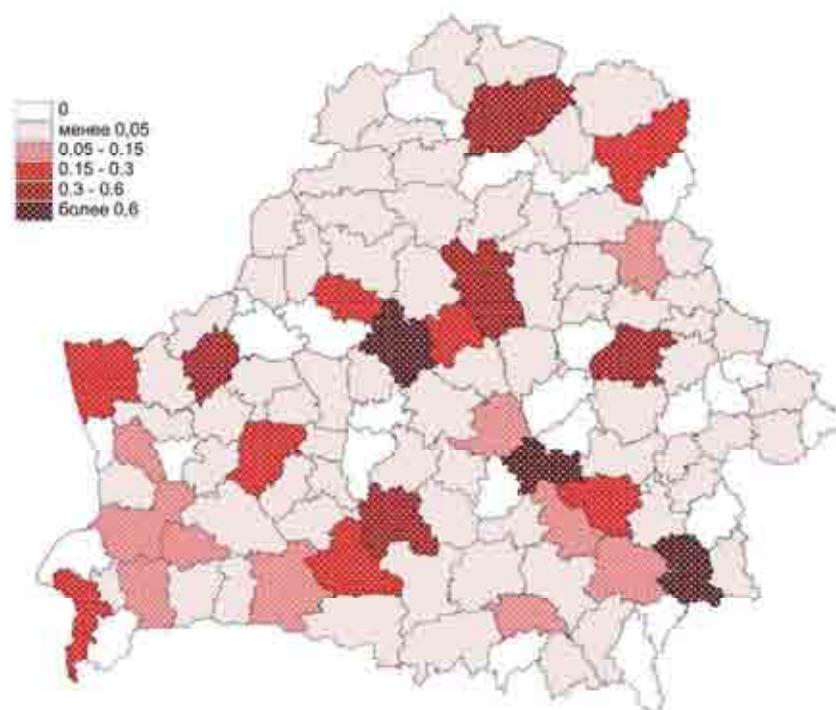


Рис. 7. Распределение диоксиноподобных ПХБ в Беларуси по административным районам, кг ТЭ

Выходы.

Исследования подтверждают полученные ранее данные о пространственной неоднородности распределения ПХБ на территории Беларуси, одновременно дополняя данные как об общем объеме ПХБ, так и с распределением по гомологам и диоксиноподобным соединениям. Полученное пространственное распределение ПХБ показывает, что достаточно большая территория, потенциально подверженная угрозе загрязнения ПХБ, сосредоточена в центральной части страны, что обусловлено развитым промышленным комплексом как собственно в Минске, так и близлежащих районах: Молодечненском, Смолевичском и Борисовском. На севере значительным количеством ПХБ и следовательно потенциальной угрозой для окружающей среды выделяется Полоцкий район, на западе – Лидский, на юго-востоке – Гомельский район.

Впервые выполнена оценка накапленных запасов ПХБ, приведенная к токсическому эквиваленту по отношению к одному из опаснейших

соединений из группы диоксинов – 2,3,7,8-ТХДД. Установлено, что максимальные объемы диоксиноподобных ПХБ сосредоточены в Минском (преимущественно в Минске), Бобруйском и Гомельском районах.

Выявленная динамика объемов ПХБ в выведенном оборудовании и весьма существенные региональные различия свидетельствуют о необходимости их учета при организации мест хранения, планировании работ по утилизации ПХБ.

Полученные данные пространственного распределения полихлорированных бифенилов можно использовать при совершенствовании систем мониторинга, для выделения территорий с обязательным мониторингом ПХБ, а также для экологически обоснованного планирования и реализации управлеченческих решений в отношении этой группы стойких органических загрязнителей.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ в рамках проекта Х11-108.

Литература

1. Кириченко, В. Е. Идентификация изомерных полихлорированных бифенилов в техническом продукте «Совол» / В. Е. Кириченко, М. Г. Первова, Е. П. Промышленникова, К. И. Пашкевич // Аналитика и контроль. 2000. Т. 4., № 1. С. 41–44.
2. Кухарчик, Т. И. Полихлорированные бифенилы в Беларуси / Т. И. Кухарчик. Минск, 2006.
3. Кухарчик, Т. И. Рекомендации по предотвращению загрязнения окружающей среды полихлорированными бифенилами / Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, В. С. Хомич. Минск, 2006.
4. Кухарчик, Т. И. Загрязнение почв полихлорированными бифенилами в зонах локального воздействия и методы их очистки / Т. И. Кухарчик [и др.] // Природопользование. 2010. Вып. 18. С. 36–44.

5. **Национальный** план выполнения обязательств, принятых Республикой Беларусь по реализации положений Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, в 2011–2015 годах. Утв. Указом Президента Респ. Беларусь № 271 от 27 июня 2011 г.

6. **Национальный** план выполнения обязательств, принятых Республикой Беларусь по Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, на 2007–2010 годы и на период до 2028 года / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Глобальный экологический фонд, Всемирный банк. Минск, 2006.

7. **Правила** обращения с оборудованием и отходами, содержащими полихлорированные бифенилы. Утв. Постановлением м-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 24.06.2008 № 62.

8. **Dercová, K.** Bratislava Environmental and Technical Aspects of PCB Disposal, Properties, Monitoring, Destruction, and Remediation of PCB-contaminated sites / Dercová, K. // Regional Training Workshop on PCBs and POPs Wastes, Bratislava, Slovakia, December 1-4, 2009. Mode of access : <http://www.non-combustion.sk>.

9. **Dioxin-** and POP-contaminated sites-contemporary and future relevance and challenges / R. Weber [et al.] // Environ Sci. Pollut. Res. (2008) 15:363–393. DOI 10.1007/s11356-008-0024-1.

10. **Inventory** of PCBs in Equipment in the Republic of Bulgaria / Project Manager Dr. Dzhevdet Chakarov sub-project GF/2732-02-4454 within the global project GEF/UNEP: GF/2732-02-4452 / Ministry of Environment and Water of the Republic of Bulgaria. Sofia, 2006.

11. **Ivanov, V.** Characterization of polychlorinated biphenyls isomers in Sovol and Trichlordiphenil formulations by high-resolution gas chromatography with electron capture detection and high-resolution gas chromatography-mass spectrometry techniques // V. Ivanov, E. Sandell / Environ. Sci. Technol. 1992. № 26. P. 2012–2017.

12. **Takasuga, T.** Isotope dilution analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oil and global commercial PCB formulations by high resolution gad chromatography-high resolution mass spectrometry // T. Takasuga [et al.] / Chemosphere 62 (2006). P. 469–484.

13. **World** Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. 2005.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 22.05.2012

Т. И. Кухарчик, Т. Л. Лапко

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Выполнен пространственный анализ уровней и структуры накопленных полихлорированных бифенилов в Беларуси. Определено, что среди населенных пунктов максимальные объемы ПХБ сосредоточены в Бобруйске и Минске. Полученное пространственное распределение ПХБ показывает, что наибольшие площади, потенциально подверженные угрозе загрязнения этим стойким органическим загрязнителем, сосредоточены в центральной части страны. На севере значительными количествами ПХБ и, следовательно, потенциальной угрозой для окружающей среды выделяется Полоцкий район, на западе – Лидский, на юго-востоке – Гомельский район. Полученные данные пространственного распределения полихлорированных бифенилов можно использовать при совершенствовании систем мониторинга, для выделения территорий с обязательным мониторингом ПХБ, а также для экологически обоснованного планирования и реализации управлеченческих решений в отношении этой группы стойких органических загрязнителей.

T. I. Kukharchyk, T. L. Lapko

THE ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN ELECTRIC EQUIPMENT ON THE TERRITORY OF BELARUS

The spatial analysis of the levels and structure of accumulated polychlorinated biphenyls in Belarus is made. It is defined, that the maximum PCB volumes among settlements are concentrated in Bobruisk and Minsk. The obtained spatial PCBs distribution shows, that the greatest areas, potentially subject to the threat of pollution by this persistent organic pollutant, are concentrated in the central part of the country. In the north a great amount of PCB and, hence, potential hazard for the environment has a Polotsk area, in the west – Lida, in the southeast – Gomel area. The obtained data of PCB spatial distribution may be used to update systems of monitoring, to mark territories with obligatory PCB monitoring and also for ecological substantiation of the planning and realization of administrative decisions concerning this group of persistent organic pollutants.

Л. А. Кравчук, А. В. Судник, Н. К. Быкова, А. Ч. Пац

СТРУКТУРА ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

С использованием данных о наличии и распределении земель по видам, картографических материалов, материалов Гослесфонда и Торфяного кадастра проанализирована структура природно-растительных комплексов в городах Беларуси. Выявлены особенности формационной и типологической структуры лесов в городах, степень участия болот и лугов в составе городских территорий.

В процессе урбанизации происходит трансформация условий природной среды с формированием уникального для каждого поселения природно-антропогенного территориального комплекса, который проявляется во взаимодействии антропогенной составляющей с природной основой и ведет к ее преобразованию. Однако на территории белорусских городов встречаются участки, где воздействие антропогенных факторов (рекреации, техногенного преобразования ландшафтов) ослаблено из-за естественных или установленных ограничений, что способствует сохранению относительно мало трансформированных природных ландшафтов. Сохранившиеся в городах естественные природные комплексы (леса, болота и луга) выполняют значимые экологические и социальные функции (средообразующие, средозащитные, природоохранные и др.) и являются важным рекреационным ресурсом.

Хотя все компоненты природной среды в городах в той или иной мере преобразованы, все же изначальная природная основа в значительной степени влияет на особенности выполнения ими основных ландшафтных функций, что во многом определяет качество городской среды. Это проявляется в формировании условий, детерминирующих, с одной стороны, интенсивность выноса, рассеивания и аккумуляции поллютантов; с другой – поддержание и повышение средообразующих, средозащитных, природоохранных и рекреационных функций.

Оценку экологического и рекреационного потенциала городских экосистем возможно провести при наличии сведений об их структуре. Структура растительных сообществ во многом определяет рекреационную емкость ландшафтов. Исследования влияния рекреационных нагрузок на различные ландшафты Беларуси и их трансформацию позволили дифференцировать ландшафты по уровню предельно допустимых нагрузок [9, 12]. Установлено, что допустимые нагрузки зависят от типа растительных сообществ, их возраста, бонитета древостоеv, рельефа местности, уровня благоустройства территории и др. В пределах лесной формации допус-

тимая нагрузка изменяется в зависимости от структуры напочвенного покрова, формирующего определенный тип леса.

Поэтому для целей планирования и управления развитием озеленения в городах очень важна детальная оценка структуры сохранившихся естественных природных комплексов и знание закономерностей их развития в урбанизированных условиях. Проведение этого анализа сопряжено с определенными трудностями, связанными с особенностями учета таких территорий в городах. Наиболее объективную картину дают статистические сведения о распределении видов земель (форма «22-зем») и данные о структуре лесов Гослесфонда (ГЛФ).

Исследования показали, что в городах Беларуси природные экосистемы встречаются достаточно часто [3, 4, 6–8]. Пример соотношения участия лесов и лесопарков, а также благоустроенных рекреационных объектов в составе крупных, больших и средних городов Беларуси приведен нами ранее [14]. Выявлено, что в составе всех крупных и больших городов страны присутствуют леса и лесопарки, степень участия которых в структуре городских территорий варьирует от 2 (Пинск) до 23 % (Мозырь). В городах также высока рекреационная и экологическая роль озелененных территорий, расположенных вблизи водных объектов (водно-зеленые системы, диаметры). В их состав входят разнообразные природные растительные комплексы – луга, болота и древесно-кустарниковая растительность. Они встречаются практически во всех поселениях с реками и водохранилищами, но не всегда имеют рекреационное благоустройство. Интересно отметить, что доля культурных объектов рекреации (парков, скверов, бульваров и садов) в крупных и больших городах, как правило, сравнительно ниже, чем естественных.

В средних городах доля лесов и частота встречаемости их в составе городских территорий ниже. Их площадь значительна лишь в промышленных городах (Новополоцк, Полоцк, Светлогорск), где они выполняют преимущественно санитарно-защитные функции. Реже леса встречаются в средних городах, расположенных в

Предполесской ландшафтной провинции. Низкие показатели доли лесных земель характерны для малых городов страны [4].

Леса и лесопарки в городах в основном входят в состав государственного лесного фонда Республики Беларусь. Однако нередко лесные земли передаются городскому хозяйству и в процессе учета земель относятся к виду земель «под улицами и другими общественными местами». Анализ данных ГЛФ о структуре лесов проведен для крупнейшего (Минск) и крупных (Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Могилев), неко-

торых больших (Барановичи, Мозырь и Пинск) и средних (Волковыск, Лида, Новополоцк, Полоцк, Светлогорск) городов страны.

Лесной фонд в пределах городской черты включает не только покрытую лесом площадь, но также ландшафтные поляны и прогалины, болота и водные объекты, пляжи и спортивные площадки. В его состав входят также вырубки, просеки, дороги и другие категории земель. При этом лесопокрытые территории представлены как насаждениями естественного происхождения, так и лесными культурами (рис. 1).

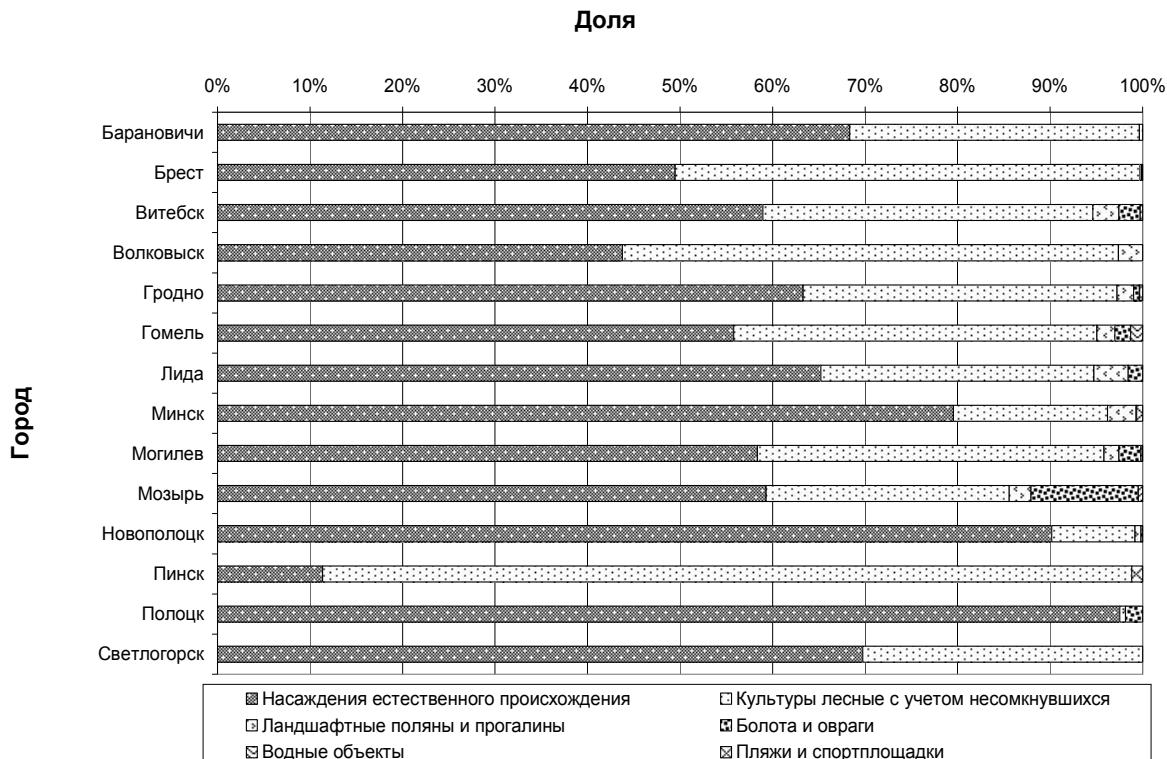


Рис. 1. Структура земель лесного фонда в разных типах городов Беларуси

Как видно из рис. 1, в лесах городов Беларуси доля насаждений искусственного происхождения часто весьма существенна. Например, в Пинске леса практически на 90 % представлены лесными культурами, а в Новополоцке и Полоцке, наоборот, доминируют естественные лесные насаждения, входящие в санитарно-защитную зону вокруг промышленных предприятий.

Формационная структура естественных лесных насаждений в анализируемых городах, как правило, достаточно близка к структуре геоботанических лесорастительных комплексов (рис. 2).

В городах обычно преобладают формации коренных хвойных лесов, занимающих доминирующее положение во всех геоботанических районах и в стране в целом. Доля производных

пушистоберезовых, осиновых, тополевых, а также сероольховых, за редким исключением, несколько ниже.

Снижение их участия в структуре лесов объясняется тем, что городские леса и леса зеленых зон городов относятся к лесам 1-й группы категории защитности (городские леса, леса лесопарковых частей зеленых зон вокруг городов и других населенных пунктов, леса лесохозяйственных частей зеленых зон вокруг городов и других населенных пунктов, где запрещены или введены ограничения на проведение рубок главного пользования). Поэтому доля производных сообществ, возникающих обычно после естественного восстановления на вырубках, значительно ниже этих показателей в соответствующих геоботанических районах (фоновых значений).

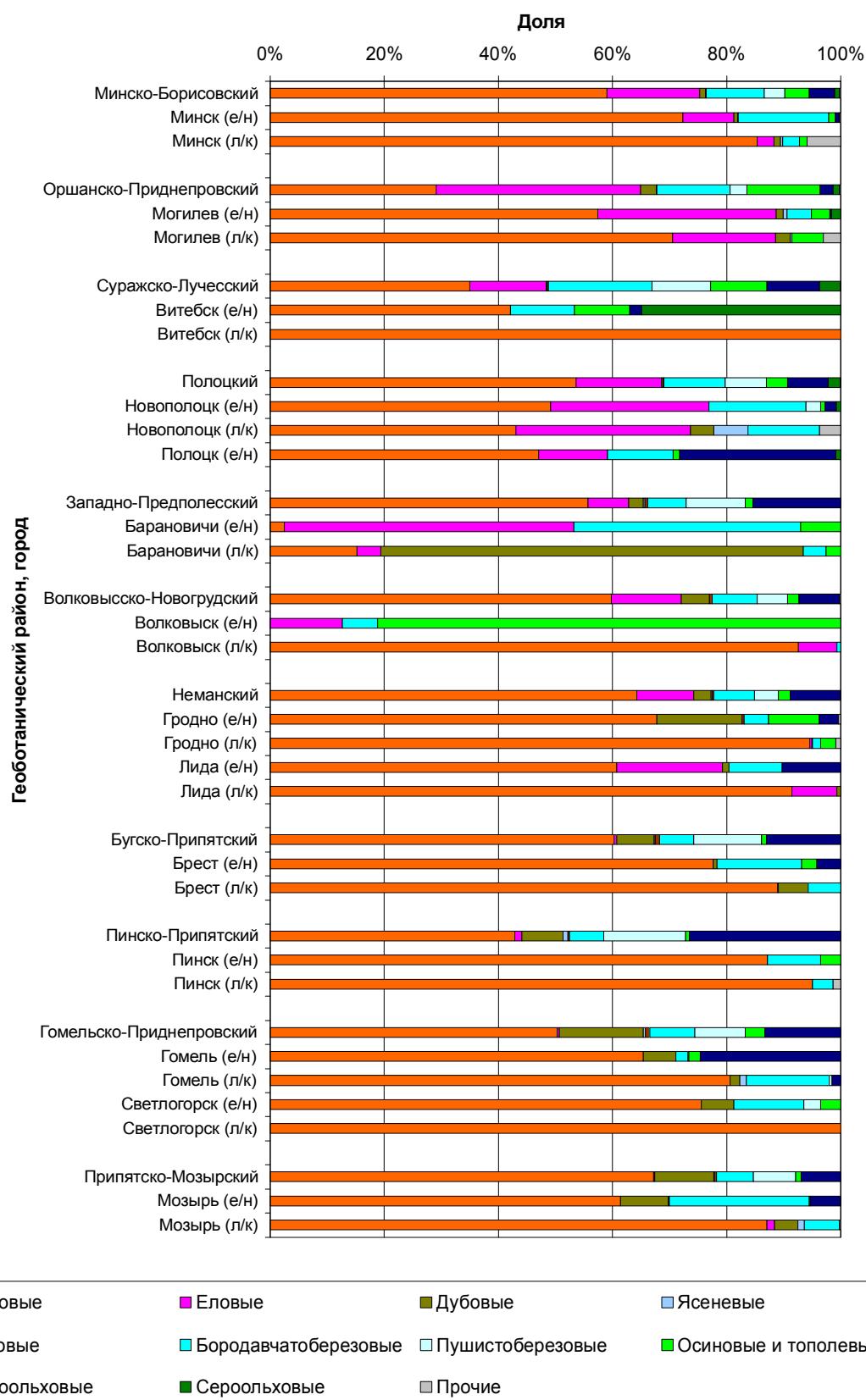


Рис. 2. Формационная структура лесов в некоторых городах Беларуси в сравнении с соответствующими геоботаническими районами (е/н – естественные насаждения, л/к – лесные культуры)

Помимо того, на структуру лесов в городах определенное влияние оказывает преимущественное расположение поселений на относительно возвышенных участках, изменение рельефа и гидрографической ситуации в процессе градостроительного преобразования территории, а также особенности природопользования в прошлом. Это обуславливает отсутствие в городах обширных пониженных участков с затрудненным стоком, поэтому для них характерно незначительное участие типов и ассоциаций лесов по болоту из сосны, березы пущистой, ивы и ольхи черной. Ярким примером тому может служить Пинск. Здесь, по сравнению с региональным лесорастительным комплексом Пинско-Припятского геоботанического района, участие пущистоберезовых и черноольховых лесов по болоту, а также пойменных дубрав на городской территории существенно ниже, вплоть до полного отсутствия.

Сходная ситуация отмечается и в других городах, где участие черноольховых и пущистоберезовых лесов ниже фоновых показателей (Витебск, Барановичи, Гродно, Светлогорск и др.) (см. рис. 2). Однако, например, в Гомеле доля черноольшаников, в составе естественных лесных насаждений практически вдвое выше их участия в лесорастительном комплексе Гомельско-Приднепровского геоботанического района (25 % против фоновых 13 %). В Волковыске доля осинников превышает их участие в составе Волковысско-Новогрудского лесорастительного комплекса (41 % против фоновых 2 %), что объясняется высоким участием в составе лесов Волковыска защитных лесополос с доминированием осины.

Анализ формационной структуры лесных культур в городах показал, что здесь традиционно выращиваются сосновые насаждения. И хотя, как показано в ряде исследований [10, 13], сосна малоустойчива к загрязнению воздуха, доля сосновых превалирует как в естественных, так и в культурных лесных посадках. Участие в посадках клена, ясеня, лиственницы и других пород, которые более устойчивы к загрязнению воздуха [10, 13], очень мало. В некоторых городах они не встречаются вовсе (см. рис. 2).

Типологическое разнообразие лесных насаждений в городах в значительной степени зависит от их площади (коэффициент корреляции между площадью городских лесов и количеством типов леса оценивается в 0,9). В совокупности в лесах анализируемых городов встречается 107 типов леса. Причем разнообразие типов городских лесов в достаточной степени варьирует: от 7 в Волковыске и Пинске, 26–31 – в Гомеле, Могилеве, Гродно и Мозыре, до 38 – в Новополоцке. Наибольшим типологическим разнообразием характеризуются городские леса столицы. Здесь встречаются леса вересковой, мшистой и орляковой серий, приуроченные к умеренно и

слабо увлажненным на сухих песчаных и свежих супесчаных почвах, а также кисличные сосновки и ельники на дренированных, обогащенных делювиальными частицами склонах моренных холмов и ложбинах стока между ними. Нередки производные мелколиственные леса по суходолу; встречаются также и черноольшаники на почвах низинных и переходных лесных болот. Всего в городских лесах Минска выделено 55 типов леса 13 лесных формаций, причем здесь произрастает 11 типов сосновок из 13, описанных для Беларуси И. Д. Юркевичем [16]; 5 типов ельников из 12; 10 типов березняков из 18; 5 типов осинников из 10; 5 типов топольников из 14; 4 типа черноольшаников из 9; 3 типа плакорных дубрав из 7; 3 типа липтняков из 5; 2 типа кленовников из 6; 2 типа сероольшаников из 10; 1 тип лиственничника из 6; 1 тип ясенника из 7 и 3 типа ивняков. В лесах белорусских городов в результате много векового антропогенного воздействия коренной растительный покров в основном заменен псевдокоренными сообществами с доминированием сосны (например, кисличного и орлякового типов), а также производными мелколиственными лесами и лесными культурами.

В целом в составе лесов анализируемых городов преобладают сосновки орляковые, (частота встречаемости около 70 %); мшистые (встречаются во всех городах, но занимают меньшие площади). Достаточно часто и с высоким участием встречаются черничные и вересковые сосновые леса. Сосновки орляковые доминируют в Минске, Могилеве и Гродно; мшистые – в Витебске, Волковыске, Лиде, Бресте, Пинске, Гомеле и Мозыре; черничные – в Новополоцке и Полоцке; вересковые – в Светлогорске. Ельники в городах встречаются редко, но иногда принимают значительное участие в составе лесного фонда города (например, в Могилеве ельники кисличные занимают до 24 % от лесопокрытой площади). В Барановичах преобладают березняки и дубравы кисличные – 25 и 22 % соответственно.

Наибольшим типологическим разнообразием характеризуются, как правило, леса естественного происхождения, более бедные по составу – лесные культуры.

Возраст древостоев в лесах во многом определяет их средообразующий и рекреационный потенциал, а также устойчивость к антропогенному воздействию. Так, более высоким газо-продуктивным и газопоглотительным потенциалом обладают молодые и средневозрастные насаждения. Однако молодые посадки менее устойчивы к рекреационным нагрузкам [9, 12].

Средний возраст древостоев естественного происхождения в лесах анализируемых городов составляет 38 лет в Пинске, Волковыске, 41–47 лет – в Барановичах, Витебске и Лиде, 50–55 – в Бресте, Полоцке, Мозыре, Гомеле и

Светлогорске, 56–62 – в Могилеве, Минске, Гродно и Новополоцке. Интересно отметить, что в естественных лесных насаждениях Бреста, Гомеля, Гродно, Минска, Мозыря и Могилева встречаются вековые деревья (100–160 лет). Повышенный возраст древостоев в городских лесах в некоторых случаях обуславливает пониженную их устойчивость к неблагоприятным техногенным воздействиям и вызывает необходимость особого контроля за их состоянием. Возраст культурных лесных посадок в крупных, больших и средних городах страны также достаточно высокий, что свидетельствует об устоявшейся практике лесовосстановления и лесоразведения в стране. Так, наибольший возраст культурных лесопосадок среди анализируемых городов характерен для Гродно, Витебска, Могилева, Минска: средний возраст составляет от 45 до 49 лет, хотя среди них отмечаются и более старые посадки (60–80 лет). Наиболее молодые посадки леса – в Волковыске: их средний возраст составляет 30 лет, максимальный – 35.

Важным показателем продуктивности лесных насаждений является их бонитет. Среди

обследованных городов в лесных сообществах доминируют высокопродуктивные древостои I, I^B и I^A классов бонитета. Наибольшая доля таких лесов находится в Могилеве (91,3 %), Минске (90,6), Гродно (73) и Барановичах (71 %). В Полоцке, Новополоцке, Гомеле, Витебске и Волковыске они составляют от 53 до 66 %. Остальные леса в перечисленных городах (кроме Полоцка и Новополоцка) относятся к среднебонитетным (II и III классов бонитета). Менее половины лесопокрытой площади занимают высокобонитетные леса в Пинске (45 %), Светлогорске (40), Мозыре (34) и Бресте (около 18 %). В этих городах (кроме Светлогорска), а также в Полоцке и Новополоцке присутствуют и низкопродуктивные леса (IV, V, V^A классов бонитета), доля которых варьирует от 1 % (Полоцк) до 7,3 % (Брест).

Среди древостоев всех формаций в лесном фонде анализируемых городов преобладают среднеполнотные древостои, однако нередки и сообщества с высокой полнотой. Доля низкополнотных древостоев и редин незначительна и они встречаются не во всех анализируемых городских лесах (см. таблицу).

Таблица. Полнота древостоев в лесах некоторых городов Беларуси

Город	Полнота древостоев, %							
	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
Барановичи	0,0	8,5	2,8	25,2	60,3	0,6	0,0	0,0
Брест	0,5	1,4	11,5	27,1	31,4	11,8	10,1	0,0
Витебск	0,0	0,0	0,5	8,9	64,6	16,7	0,0	0,0
Волковыск	0,0	6,1	2,1	12,1	73,3	0,0	0,3	0,0
Гродно	0,0	0,7	9,2	27,0	46,2	7,4	2,5	0,0
Гомель	0,3	1,0	6,1	11,3	40,0	15,2	1,9	1,6
Лида	0,0	0,1	3,2	29,1	42,7	12,6	1,0	2,4
Минск	0,1	1,3	3,8	14,1	44,4	20,4	8,0	0,0
Могилев	0,4	1,0	2,2	15,5	37,7	21,1	0,4	0,8
Мозырь	0,3	1,5	6,6	18,7	37,9	6,6	2,9	0,1
Новополоцк	0,8	1,7	5,5	22,1	43,8	7,6	0,2	0,0
Пинск	2,0	1,1	0,9	6,6	11,1	51,4	2,4	0,0
Полоцк	0,0	0,0	0,0	33,0	56,3	5,6	0,0	0,0
Светлогорск	0,0	10,2	23,2	9,8	31,7	11,2	1,5	0,0

Помимо лесов из естественных экосистем, которые достаточно часто встречаются в составе городов Беларуси, следует отметить болота.

Болота, сохранившиеся в пределах городов, выполняют важные биосферные и социальные функции, присущие этим экосистемам, развивающимся в естественных условиях [1, 11]. Для них характерна своеобразная ландшафтная организация и высокое биологическое разнообразие. В городах, как и в природных условиях, болота во взаимодействии с прилегающими территориями (озерами, поймами рек и склонами местных водоразделов) образуют неповторимые живописные ландшафты.

Болотные природные комплексы, встречающиеся в городах, как правило, сохраняют естественный растительный покров, представлен-

ный типичными евтрофными, мезотрофными и олиготрофными сообществами. Для них характерна специфическая флора, представляющая сочетание различных экологических групп и жизненных форм. В состав этих экологических групп входят деревья, кустарники, кустарнички, травы, мхи. Так, например, при исследованиях болотных экосистем в Минске выявлено 296 видов растений из 184 родов и 72 семейств; встречаются лекарственные и охраняемые растения [2]. Кроме того, болота в городах являются пристанищем для многих специфических видов диких животных и птиц. Поэтому их роль в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия в городах очень высока, так же как эстетическая и научно-образовательная ценность.

Наличие и сохранение болот в городах связано отчасти с природоохранными ограничениями, а отчасти с включением в состав городских земель прилегающих природных комплексов, не подвергшихся интенсивным градостроительным процессам из-за сложности геоморфологических условий.

Согласно данным земельного кадастра и материалам Гослесфонда общая площадь болот, сохранившихся в городах Беларуси, составляет около 4,5 тыс. га (с учетом болот на землях ГЛФ). Однако следует отметить, что эти данные не всегда полны. Например, по данным учета земель в 1998–2010 гг., в Минске болота вне земель под лесами не числились. В то же время анализ топографических карт и данных торфяного фонда [15], а также натурные исследования свидетельствуют о наличии болот в пойме р. Свисочи, в западной, северо-западной и восточной частях города, общая площадь которых составляет около 0,5 % от всей площади города

[2, 5]. В целом наибольшая доля болот из сохранившихся на территории городов Беларуси приходится на большие города – 40,9 %, далее следуют малые – 31,3, средние – 15,9 и крупные города – 11,9 %. Диапазон изменения площади болот в крупных городах составляет от 61,3 до 246,0 га, в больших – от 1,0 до 1359,0, средних – от 1,0 до 135,4 и в малых – от 1,0 до 226,0 га (рис. 3 и 4).

В крупных городах наибольшая площадь болот отмечается в Бресте – 246,8 га (они приурочены в основном к широким поймам рек Западного Буга и Муховца, протекающих через город); в больших – в Пинске – 1359 га (их площадь столь велика в связи с включением заболоченных пригородных земель в современную городскую черту для последующего развития города), в средних – в Лиде (с учетом Березовки) – 135 га, в малых – в Чашниках (с учетом Новолукомля) – 226 га.

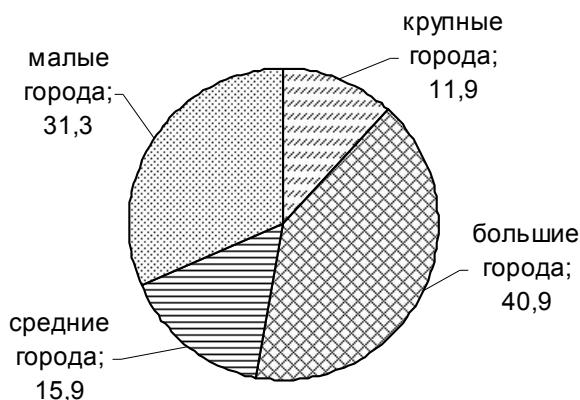


Рис. 3. Доля болот в разных типах городов Беларуси (от общей площади болот, сохранившихся в городах), %

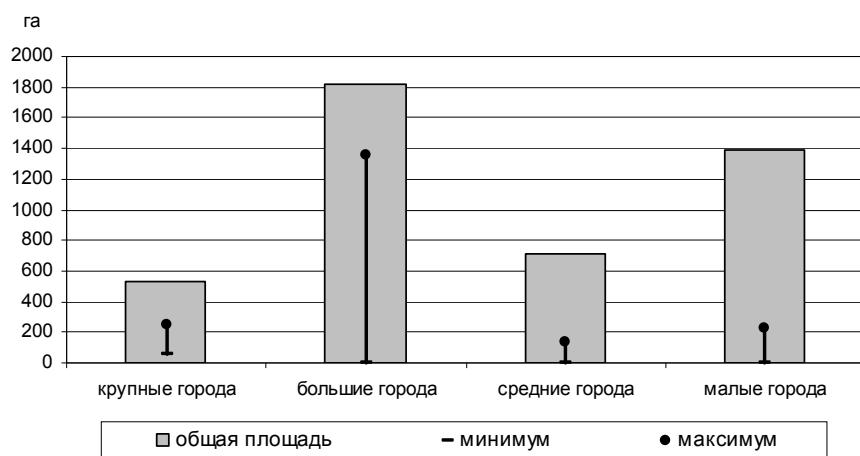


Рис. 4. Общая площадь болот и диапазон ее изменения в разных типах городов Беларуси

Чаще всего болота в городах страны занимают менее 1 % городской территории (38 городов: Могилев, Витебск, Барановичи, Орша с учетом Барани, Солигорск и др.); в 36 городах они занимают площадь от 1 до 5 % территории города (Горки – 4,8 %, Добруш – 4,4, Хойники – 4,0, Слоним – 3,7, Поставы – 3,6 % и др.); в 4 городах – от 5 до 10 % (Будо-Кошелево – 8,4 %, Чашники с Новолукомлем – 7,8, Городок – 5,9, Мозырь – 5,8 %) и в 4 городах болота занимают более 10 % от площади города (Пинск – 28,5 %, Браслав – 12,3, Жабинка – 10,7, Крупки – 10,6 %) (рис. 4).

Большая часть болот, расположенных в городах, относятся к низинным, в редких случаях встречаются болота переходного (в городах. Старые Дороги, Новополоцк) или верхового типа (в Полоцке и Березовке) [15]. Более детальную оценку структуры и состояния болот в городах возможно получить при проведении целенаправленных исследований в конкретных ландшафтно-экологических условиях.

Луга в городах страны встречаются достаточно часто [4]. Анализ структуры земель под лугами в составе городов Беларуси проведен на основании данных статотчетности по форме «22-зем», согласно которым земли под лугами включают как улучшенные луга, где создан искусственный травостой или проведены мероприятия по улучшению естественного покрова, так и естественные луга. Среди последних выделяются заболоченные луговые земли (избыточ-

но-увлажненные, приуроченные к пониженным элементам рельефа или слабо дренированным почвам, с преобладанием влаголюбивых видов растений), а также закустаренные (естественные луга, заросшие древесно-кустарниковой растительностью, занимающей от 10 до 70 % площади). Оценка степени участия этих видов луговых земель в составе городов, приуроченных к различным ландшафтным провинциям, выявляет определенные географические закономерности в расположении лугов на территории городов страны (рис. 5). Как видно из рис. 5, наибольшая степень участия луговых земель в составе городов характерна для Полесской ландшафтной провинции (5,2 %), за ней следуют Поозерская (4,7), Предполесская (4,4) и Белорусская возвышенная (3,9 %); наименьшая – для Восточно-Белорусской провинции (3,5 %). Степень участия естественных лугов в пределах городов в Полесской, Поозерской и Предполесской провинциях составляет (соответственно 4,1, 4,0 и 3,6 %) и несколько ниже она в Восточно-Белорусской и Белорусской возвышенной провинциях (соответственно, 2,8 и 2,7 %).

Закономерности частоты встречаемости различных лугов в городах, приуроченных к различным ландшафтным провинциям, несколько иные (рис. 6). В Полесской провинции частота встречаемости земель под лугами в городах ниже, чем в остальных провинциях (за исключением Восточно-Белорусской), хотя в целом в них они занимают большие площади (см. рис. 5).

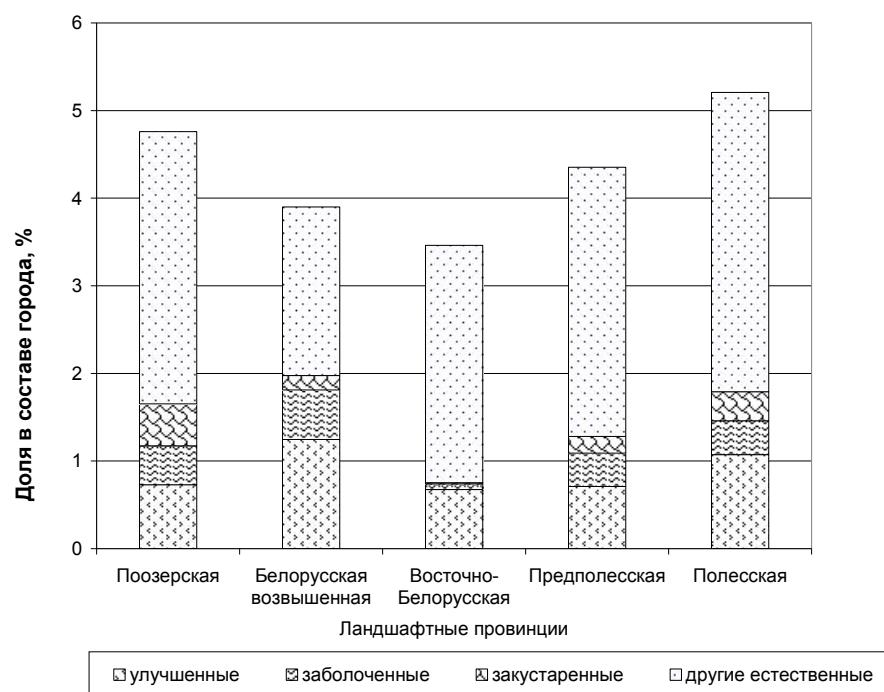


Рис. 5. Степень участия лугов в составе городов, приуроченных к различным ландшафтным провинциям

Структура лугов в городах, различающихся размером, представлена на рис. 7, из которого видно, что наибольшую площадь луга занимают в составе средних и малых городов, причем доля естественных лугов, в том числе заболоченных и закустаренных, здесь выше, чем в крупных и больших городах.

В целом в крупных городах (с учетом Минска) луга занимают чуть более 2 % их территории. Наибольшая площадь земель под лугами в

Бресте (5,2 % от площади города), где практически половина из них – улучшенные луга, однако встречаются заболоченные и закустаренные. В Гродно, Минске и Могилеве их доля соответственно оценивается в 3,1, 1,6 и 1,4 %, причем заболоченные и закустаренные луга в этих крупных городах отсутствуют. В Гомеле и Витебске луга занимают 0,5 и 1,4 % городской территории, соответственно, при этом заболоченные и закустаренные луга здесь отсутствуют.

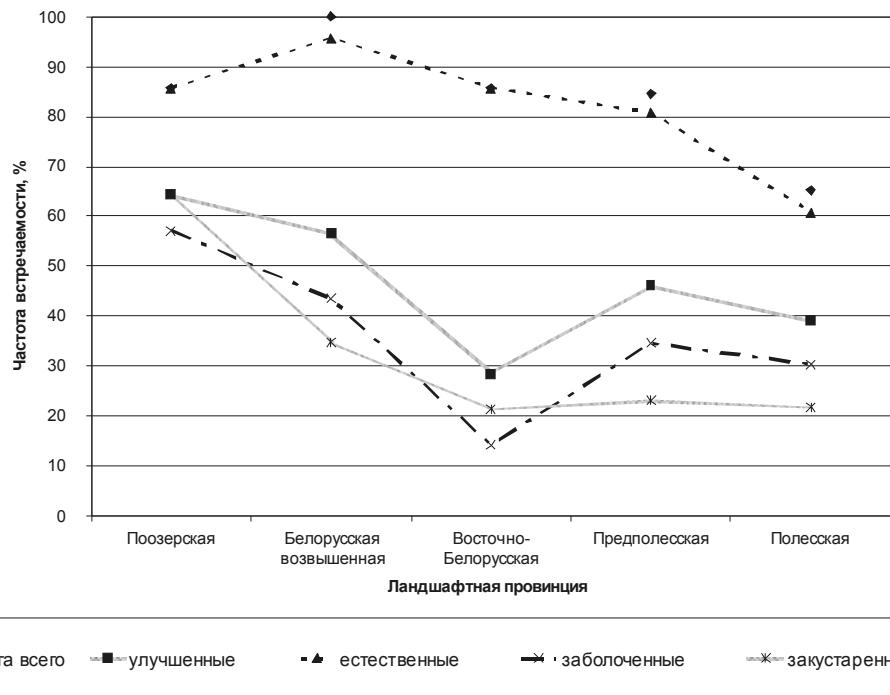


Рис. 6. Частота встречаемости лугов в городах, приуроченных к различным ландшафтным провинциям

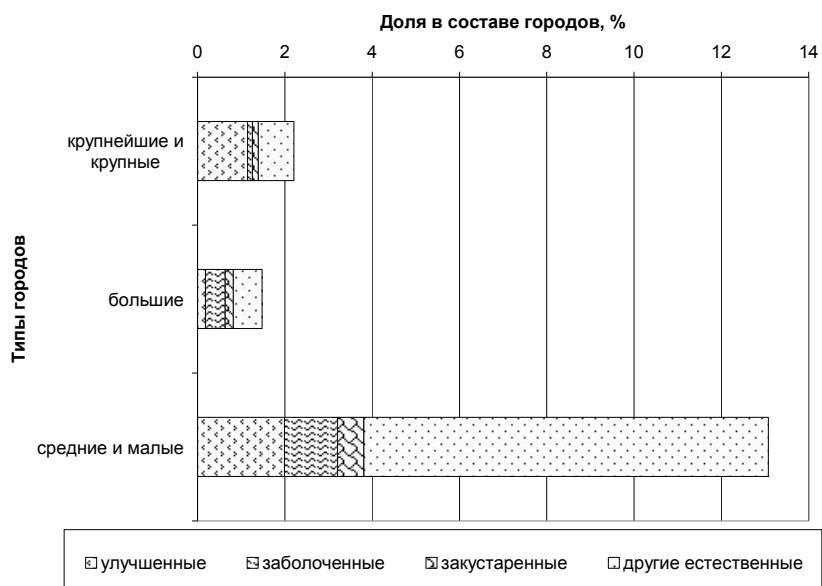


Рис. 7. Доля лугов в разных типах городов Беларуси

В больших городах доля лугов в пределах городской черты невысокая, и в основном они представлены естественными лугами, в том числе заболоченными и закустаренными. Наибольшая их площадь отмечается в Бобруйске (3,7 % от общегородской территории), причем доля естественных лугов составляет 3,3 %, из них заболоченные и закустаренные занимают соответственно 0,6 и 0,5 %. В других городах (Борисове, Барановичах и Орше с учетом Барани) участие лугов ниже, соответственно 1,8, 0,6 и 0,7 %, причем в Борисове преобладают заболоченные луга, в Орше – улучшенные. В Пинске, Мозыре и Солигорске земли под лугами не выделены.

В средних городах доля земель под лугами составляет около 4,4 % от их территорий. Однако диапазон варьирования достаточно широк: от полного отсутствия (Полоцк, Новополоцк, Светлогорск, Калинковичи, Марьина Горка, Лунинец с Микашевичами) до 16,2 в Рогачеве и 17,6 % в Вилейке. Преобладают в основном естественные луга с небольшим участием заболоченных и закустаренных. Иногда доля заболоченных значительна. Например, 8,6 % от площади города занимают заболоченные луга в Слониме и 3,7 – в Вилейке.

Наиболее высокая доля земель под лугами характерна для малых городов страны (8,5%, или 5,7 тыс. га). В некоторых городах их доля достигает 27,5 % (Березино), 31,7 (Столин с Давид-Городком) и 32,3 % (Городок) от общей площади поселения. Много заболоченных и закустаренных лугов в Городке (по 4 %), Сенно (по 3 %), Дятлово (до 2 % занимают заболоченные) и Заславле (до 4 % – закустаренные); в остальных их количество существенно ниже. В 6 малых городах луга не отмечены в составе городских земель.

Типологический состав лугов в городах слабо исследован. Следует отметить, что из всех растительных сообществ в городах луга в наи-

большей степени подвержены антропогенной трансформации, для них характерна высокая мозаичность и антропогенная преобразованность травянистого покрова. Следует предположить, что состав луговой растительности в городах определяется, с одной стороны, особенностями распространения различных типов лугов в конкретных географических условиях, с другой – антропогенным преобразованием урбанизированных территорий и растительности в их составе (изменение рельефа, гидрологического режима, сенокошение, интенсивное внедрение в состав сообществ рудеральных видов и др.).

Таким образом, анализ структуры природно-растительных комплексов (лесов, болот и лугов) в городах Беларуси показывает, что они часто занимают довольно большие площади. Степень их участия в составе городов во многом определяется размером города, особенностями географического положения. В городских лесах обычно преобладают формации коренных хвойных лесов, занимающих доминирующее положение во всех геоботанических районах и в стране в целом. Доля производных пущистоберезовых, осиновых, тополевых, а также сероольховых, за редким исключением, несколько ниже. Выявлено высокое типологическое разнообразие лесов в городах, и оно в значительной степени зависит от площади городских лесов. Участие лугов в составе городских территорий зависит от размеров города (наибольшие площади они занимают в малых городах) и в определенной степени от географического местоположения. Болота в городах чаще всего занимают незначительные площади и составляют менее 1 % городской территории (38 городов), в 36 городах – от 1 до 5%; в 4 городах – от 5 до 10 % и в 4 городах страны – более 10% от площади города, причем преобладают низинные болота.

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. Минск, 2005.
2. **Быкова, Н. К.** Функционирование и трансформация болотных комплексов на урбанизированных территориях (на примере г. Минска) : автореф. дис.... канд. географ. наук: 25.00.36 / Н. К. Быкова. Минск, 2009.
3. **Кравчук, Л. А.** Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси / Л. А. Кравчук. Минск, 2011.
4. **Кравчук, Л. А.** Предпосылки формирования ландшафтно-рекреационных комплексов в городах Беларуси / Л. А. Кравчук, Н. М. Баженова // Природопользование. Вып. 18. 2010. Минск, 2010. С. 64–73.
5. **Кухарчик, Т. И.** Уголки нетронутой природы в городах / Т. И. Кухарчик, Н. К. Быкова // Наука и инновации. № 5 (39). 2006. С. 21–23.
6. **Кухарчик, Т. И.** Состояние и пути использования городских болот Белоруссии / Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, В. С. Хомич // Изв. РАН. Сер. географ. № 4. 1998. С. 110–114.
7. **Кухарчик, Т. И.** Оценка и сохранение природного разнообразия городских ландшафтов / Т. И. Кухарчик [и др.] // Природопользование. 2008. Вып. 14. Минск, 2008. С. 27–37.
8. **Нацыянальны атлас Рэспублікі Беларусь / Кам. па зямельных рэсурсах геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь. Мінск, 2002.**
9. **Потаев, Г. А.** Экологическая реновация городских ландшафтов / Г. А. Потаев. Минск. 2009.

10. Правила по организации и ведению зеленого хозяйства в городах Республики Беларусь : сб. нормативных документов по охране окружающей среды. Минск, 1997. Вып. 18. С. 50–111.
11. Ракович, В. А. Классификация функций болот в природе и обществе / В. А. Ракович, Н. Н. Бамбалов // Природные ресурсы. 1996. № 1. С. 119–123.
12. Рекомендации по формированию рекреационных ландшафтов в условиях Белорусской ССР. Минск, 1984.
13. Сергейчик, С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде / С. А. Сергейчик. Минск, 1994.
14. Состояние природной среды Беларуси : эколог. бюл. 2010 г. / под общ. ред. академика В. Ф. Логинова. Минск, 2011.
15. Торфяной фонд Белорусской ССР / Управление торфа и торфяного фонда Мин. с/х РСФСР и Ин. торфа Акад. наук БССР ; редкол. : П. И. Белькович [и др.]. М., 1953.
16. Юркович, И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах / Д. Ю. Юркович. Минск, 1980.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 25.04.2012

Л. А. Краечук, А. В. Судник, Н. К. Быкова, А. Ч. Пац

СТРУКТУРА ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

На основании анализа данных о наличии и распределении земель по видам, картографических материалов, материалов Гослесфонда и Торфяного кадастра выявлено участие природных растительных комплексов (лесов, болот и лугов) в городах Беларуси. Установлено, что формационная структура естественных лесных насаждений в городах, как правило, достаточно близка к структуре геоботанических лесорастительных комплексов, однако в городах ниже участие производных лесных сообществ. Типологическое разнообразие городских лесных насаждений в значительной степени зависит от их площади (коэффициент корреляции между площадью городских лесов и количеством типов леса оценивается в 0,9). Установлено, что доля участия лугов в составе городских территорий зависит от размеров города (наибольшие площади они занимают в малых городах) и определяется географическим положением поселения. Болота в городах страны чаще всего занимают менее 1 % городской территории (38 городов); в 36 городах – от 1 до 5%; в 4 городах – от 5 до 10%; в 4 – более 10% от площади города.

L. A. Kravchuk, A. V. Sudnik, N. K. Bykova, A. C. Pats

STRUCTURE OF NATURE-VEGETATIVE COMPLEXES IN CITIES OF BELARUS

On the basis of data analysis about the availability and distribution of lands by types, cartography materials, materials of State Wood Fund and the Peat Cadastre the role of natural vegetative complexes (woods, bogs and meadows) in cities of Belarus is revealed. It is established, that formation structure of natural wood plantings in cities, as a rule, is close enough to the structure of geo-botanical wood-vegetative complexes, however in cities more low participation of derivative wood communities. A typological variety of city wood plantings substantially depends on their area (the correlation factor between the area of city woods and quantity of types of wood is estimated as 0,9). It is established, that the share of participation of meadows as a part of city territories depends on the sizes of a city (they occupy the greatest areas in small cities) and is defined by a settlement geographical position. More often bogs in country cities occupy less than 1 % of city territory (38 cities); in 36 cities – from 1 to 5%; in 4 cities – from 5 to 10%; in 4 – more than 10 % from the city area.

УДК 553.97

В. А. Ракович, О. Н. Ратникова

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННОГО МЕЛИОРАЦИЕЙ ЛЕСНОГО БОЛОТА ЧЕРВЕНСКОЕ (ГАЛОЕ)

Выполнена оценка процессов изменений до и после повторного заболачивания нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое), расположенного в Червенском районе Минской области. Получены данные ботанического состава, степени разложения, зольности, влажности, уровня грунтовых вод, pH, окислительно-восстановительного потенциала, химического состава воды, описан растительный покров в двух пунктах мониторинговых площадок.

Осушение заболоченных лесов проводилось с целью повышения продуктивности древостоев, и к настоящему времени в лесном фонде Беларуси осушено 230 тыс. га болот [16]. В отличие от добычи торфа и сельскохозяйственной мелиорации осушение лесных болот осуществляется сетью мелких каналов с понижением уровня грунтовых вод до 30–50 см.

В результате осушения заболоченных лесов происходит ускоренный сброс вод, изменение водного и воздушного режимов корнеобитаемого слоя и минерализация торфа, а также определенная трансформация растительного сообщества. Этим достигался хозяйствственный (экономический) эффект в форме дополнительного прироста древесины и улучшения доступности лесов. В первые 5–7 лет после осушения наблюдается интенсификация прироста древесины на осущенных участках до 3–5 м³/га в год за счет усиления минерального питания древесных растений, высвободившегося в процессе ускоренной минерализации торфа в осушенному состоянии. Однако в последующие годы в связи с исчерпанием дополнительных питательных веществ, прирост древесины замедляется нередко до уровня прироста на неосущенных болотах, а из-за частых пожаров в осущенных лесах ожидаемый эффект не всегда получается. В то же время осушение верховых болот из-за бедности минерального питания практически не дает прироста древесной биомассы. По этим причинам в настоящее время общая эффективность осушения заболоченных лесов подвергается сомнению.

Кроме этого, осушение лесных болот сопровождается комплексом негативных последствий для флоры, фауны и ландшафтов. На осущенных болотах изменяется направленность и параметры биогеохимических циклов биогенных элементов, что ведет к загрязнению почв, вод, атмосферы. Отрицательные последствия имеет осушение болот в зонах водосборов рек и озер.

В таких случаях повторное заболачивание нивелирует все эти негативные последствия, а мониторинг за восстановлением нарушенных

лесной мелиорацией болот представляет собой актуальную научную и прикладную задачи.

Цель исследования – оценить изменения и эффективность повторного заболачивания на площадках наблюдений болота Червенское (Галое).

Для достижения поставленной цели на восстанавливаемой болотной экосистеме были выполнены следующие работы:

подобраны и заложены две площадки наблюдений;

отобраны послойно сверху донизу через 25 см образцы торфа с описанием гранулометрического состава подстилающих пород и оценкой глубины оставшегося торфяного слоя;

в лабораторных условиях проведены исследования ботанического состава, степени разложения, влажности и зольности торфа;

произведены замеры уровня болотных вод в колодцах и выполнен химический анализ воды на площадках наблюдений;

получены данные кислотности, окислительно-восстановительного потенциала торфяной залежи в пунктах наблюдений на площадках измерений;

выполнено описание болотных микроландшафтов на площадках наблюдений (поверхность болота, растительный покров);

выполнен анализ динамики изменений через четыре года до и после повторного заболачивания болотной экосистемы Червенское (Галое).

В пунктах наблюдений учитывались характеристики болота по консервативным и динамичным свойствам. К консервативным относятся такие свойства, которые либо не изменяются, либо изменяются весьма медленно (в течение сотен лет), а к динамичным – свойства, которые изменяются в течение непродолжительного времени, например, месяца или сезона.

Площадь болота Червенское (Галое) в нулевых границах составляет 1447 га (рис. 1). Оно относится к области крупных верховых и низинных болот пологоволнистой абляционной равнины [19]. Поверхность области характеризуется преобладанием сглаженных форм рельефа.



1 – первая площадка наблюдений; 2 – вторая площадка наблюдений

Рис. 1. Космический снимок нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое)

Поверхность болота в центральной части является на 2 м более выпуклой по сравнению с окраинами за счет более высокой скорости накопления торфа в центральной части, чем на периферии. Возрастание кислотности среды не возмещалось катионами атмосферных осадков, в результате чего образовалось выпуклое сосново-пушицево-кустарничково-сфагновое болото.

Болотный массив расположен на водоразделе рек Волмы (левый приток р. Свислочь) и Чернявки (правый приток р. Болочанка).

В образовании торфяной залежи по данным материалов детальной разведки 1976 г., проведенной научно-исследовательским и проектным институтом «Белгипроторф», принимали участие 26 видов торфа: 12 верховых, 6 переходных и 8 низинных. Верховые виды торфа составляли 68,2 %, переходные – 10,5 % и низинные – 21,3 %. Наиболее распространенными видами являются: магелланник торф (42,7 %) и осоковый низинный (12,1 %). Другие виды торфа составляют до 5 %. Участки залежи верхового типа составляют 74,4 %, смешанного – 14,1 %, низинного – 11,5 %. На площади 919 га залегают виды торфа верхового типа малой степени разложения. Максимальная мощность залежи слаборазложившегося торфа достигает 3 м.

Средняя глубина торфяной залежи месторождения до осушения составляла 2,47 м, наибольшая – 6,8 м. Средняя степень разложения торфа – 24 %, средняя зольность – 3,23 %; сред-

няя естественная влажность торфяной залежи – 91,7 %, средняя пнистость – 1,5 %.

До осушения болото Червенское (Галое) практически полностью было покрыто сосновым лесом. Возраст древостоев составлял 40–90 и более лет. Это было сосново-пушицево-кустарничково-сфагновое болото с преобладающей растительностью сфагнового и пушицево-сфагнового видов.

Избыточные воды сбрасывались по временным естественным водотокам в р. Волма, которая расположена в 2,5 км западнее болота.

Гидролесомелиоративные работы на территории болота Червенское (Галое) были начаты с 1960 г. в соответствии с проектом осушения болот и заболоченных земель в водосборе р. Волма, составленным РУП «Белгипроводхоз» в 1955 г. Осушение проводилось в 1960–1963 гг. Смолевичским и Пуховичским строительно-монтажными управлениями.

После осушения вся территория массива стала подвергаться частым низовым пожарам различной интенсивности. В 2007 г. данная территория представляла собой сильно подсущенное верховое водораздельное болото с пониженным уровнем грунтовых вод и частично выгоревшей торфяной залежью, где более 50 % торфяника было представлено гарями с многочисленным сухостоем сосны и березы. Участки сняков, не затронутые огнем, сохранились лишь

локально, преимущественно по периферийной части массива.

В январе 2008 г. проведены мероприятия по повторному заболачиванию торфяника. Уровень болотных вод на торфяном массиве был поднят с помощью строительства четырех подпорно-регулирующих сооружений на сбросном (магистральном) и транспортирующих (валовых) каналах.

В настоящее время верховое болото Червенское (Галое) находится в ведении Червенского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз».

Для изучения болотной экосистемы в пунктах наблюдений на стационарных площадках были использованы топографические карты масштабов 1:100 000, 1:25 000, кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР» и «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 года». Данные о генезисе, стратиграфии, растительном покрове, типологической принадлежности, геоморфологии, гидрологии и современном состоянии болота Галое получены во время научных экспедиций, а также по фондовым материалам детальной разведки 1976 г., проведенной научно-исследовательским и проектным институтом «Белгипроторф».

Стратиграфическое бурение и отбор проб торфа из залежи производили в соответствии с существующими Методическими инструкциями по разведке торфяных месторождений [5, 20]. Образцы отбирали в пункте отбора проб послойно из одной или нескольких скважин, которые располагались в радиусе не более 10 м от места отбора первой пробы.

Отбор образцов торфа производили полуметровым челноком торфоотборочного бура ТБГ-66, не нарушающим структуру торфа. Образцы отбирали от поверхности торфяной залежи до минерального дна. На общетехнические анализы (ботанический состав, степень разложения, зольность, кислотность) пробы отбирали послойно через 0,25 м и упаковывали в отдельные полиэтиленовые пакеты. Масса отобранный пробы была не менее 0,4 кг. Перед погружением бура в залежь для отбора следующей пробы челнок тщательно очищали. В одной скважине с каждой глубиной пробу отбирали только один раз. При отборе проб вели полевой журнал, в котором фиксировали место отбора, номер пробы, глубину отбора, на какой анализ отбиралась пробы и полевые оценки вида, типа и степени разложения торфа.

Для определения ботанического состава использовали атласы – определители остатков растений-торфообразователей [3, 7]. Название вида торфа давали по процентному соотношению растительных остатков [18]. Общую площадь, занятую остатками, видимыми под микроскопом, принимали за 100 % (пустоты не учиты-

вали). Процентное содержание отдельных растений определяли глазомерно с округлением до 5 %. При анализе одной и той же пробы торфа путем передвижения покровного стекла просматривали до 10 полей.

Определение степени разложения торфа в образцах, взятых из неосущенных залежей, осуществляли микроскопическим методом Варлыгина [1]. Показатель степени разложения торфа вычислялся как среднеарифметическое просмотренных 30 полей.

Для определения зольности использовали типовой метод [ГОСТ 11306-83]. Навеску торфа сжигали в муфельной печи при температуре $800 \pm 25^{\circ}\text{C}$ и зольный остаток прокаливали до постоянного веса при той же температуре. Все взвешивания проводили на аналитических весах с точностью до 0,002 г. Результаты анализов каждого из двух параллельных определений зольности рассчитывали до сотых долей, а окончательный результат – среднее арифметическое из двух параллельных определений – округляли до десятых долей процента [13].

Кислотность болотной среды (рН) и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) измеряли с апреля по ноябрь (не реже 1 раза в месяц) с помощью переносного рН-метра-милливольтметра портативного HI-8314 со встроенным термодатчиком и кондуктометром HI-9033. Для определения ОВП в полевых условиях использовали специальный стеклянный электрод. Электрод погружали в торф на стенке предварительно подготовленного непосредственно перед определением шурфа и проводили измерение ОВП на глубинах 5 и 25 см. Торф вокруг электрода слегка уплотняли (обжимали) для изоляции от воздуха. После каждого измерения электрод промывали дистиллированной водой [15].

Описание растительного покрова включало характеристику растительного покрова с расчленением его по ярусам (древесному, кустарниковому, травянистому и моховому), характеристику микрорельефа и оценку степени обводненности участка, название фитоценоза и типа растительности.

Для древесного яруса описывали названия пород деревьев, процент участия каждой породы, среднюю высоту деревьев (м), средний диаметр (см), полноту насаждения, количество деревьев каждой породы. Для кустарникового и травяного ярусов – название растений, высоту, степень покрытия (%). Для мохового яруса – название растений, степень покрытия. Для характеристики микрорельефа описывали элементы микрорельефа (положительные элементы: кочки, гряды, более или менее ровные участки; отрицательные элементы: межкочечные понижения, мочажины), процент от общей площади, среднюю высоту (глубину), м, ширину. Для описания растительности выделялись по 5 площадок ме-

тодом конверта. Для древесного яруса размером 10x10 м, для кустарничкового и травяного – 2x2 м, для мохового – 1x1 м. Размеры площадок для описания растительности на местах наблюдений принимали согласно [5, 20].

Воду отбирали из колодцев в пунктах наблюдений в 2007, 2010, 2011 гг. Ее химический состав (аммоний, нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды, калий, кальций, магний, железо и др.) определяли по стандартным методикам [21].

Первая площадка наблюдений ($53^{\circ}40'20''$ с. ш., $028^{\circ}22'62''$ в. д.) (см. рис. 1, 2) расположена на расстоянии 4 км на юго-запад от г. Червень, в 300 м на юг от магистрального канала, в 150 м к востоку от валового канала. Состояние подсушенного участка близко к естественному болоту.

Видовой состав болотных фитоценозов формируется в зависимости от водного режима, свойств торфяной почвы и химического состава воды. На данной территории древесный ярус

представлен сосной (*Pinus sylvestris*) (высота до 2 м, диаметр 5–10 см). Сосна не образует сплошного яруса, а произрастает куртинно или одинично в виде специфических болотных форм. Единично встречается береза (*Betula pendula*) (высота 1–1,5 м, диаметр 5–10 см).

Растительный покров описываемой площадки представлен подбелом, багульником болотным, клюквой, голубикой, пушицей влагалищной.

В напочвенном покрове фон образуют сфагновые мхи. В микрорельефе часто встречаются кочки, покрытые сфагновыми, изредка гипновыми мхами. Доминирует *Sphagnum magellanicum*, формирующий кочки (средняя высота кочек 30 см).

В табл. 1 представлены виды растительности и ее доля проективного покрытия от площади на первой площадке наблюдений до (2007 г.) и после (2011 г.) повторного заболачивания.



Рис. 2. Первая площадка наблюдений торфяника Червенское (Галое)

Таблица 1. Виды растений и доля их проективного покрытия до и после проведения повторного заболачивания на первой площадке наблюдений болота Червенское (Галое)

Виды растений	Проективное покрытие, %	
	2007 г.	2011 г.
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	2,1	0,8
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	11,5	12,5
Багульник болотный (<i>Ledum palustre</i>)	5,8	6,3
Голубика (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	20,2	10,3
Подбел обыкновенный (<i>Andromeda polifolia</i>)	20,4	25,5
Пушица влагалищная (<i>Eriophorum vaginatum</i>)	15,4	17,5
Росянка круглолистная (<i>Drosera rotundifolia</i>)	0,2	0,2
Клюква болотная (<i>Oxycoccus palustris</i>)	30	33,5
Политрихум сжатый (<i>Polytrichum strictum</i>)	10,5	4,5
Сфагновые мхи (<i>Sphagnum sp.</i>)	85,5	95,5

Как видно из табл. 1, современное состояние растительности на первой площадке наблюдений показывает положительную динамику в протекании процессов повторного заболачивания. К 2011 г. увеличился процент проективного покрытия типично верховых болотных видов растительности подбела обыкновенного (*Andromeda polifolia*) 20,4–25,5 %, сфагновых мхов – 85,5–95,5 % при одновременном уменьшении доли зеленых мхов с 10,5–4,5 %, в древостое бересклета повислой – (*Betula pendula*) с 2,1 до 0,8 % и голубики – с 20,2–10,3 %, довольно стабильные показатели у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) – 11,5–12,5 %, пушицы влагалищной (*Eriophorum vaginatum*) – 15,4–17,5 %, багульника болотного (*Ledum palustre*) – 5,8–6,3 % и клюквы болотной (*Oxycoccus palustris*) – 30,5–33,5 % (табл. 1). На

площадке встречается росянка круголистная (*Drosera rotundifolia*).

Анализ данных наблюдений 2007, 2011 гг. показывает, что после повторного заболачивания увеличилась площадь проективного покрытия подбела обыкновенного и сфагновых мхов, характерных для этого верхового болота. Это произошло за счет поднятия уровня болотных вод. Регулирование водного режима на болоте позволило прекратить многочисленные пожары и стабилизировать болотообразовательные процессы.

В табл. 2 представлены качественные характеристики торфа (ботанический состав, степень разложения, зольность и влажность), отобранного в 2011 г. с первой площадки наблюдений.

Таблица 2. Качественная характеристика торфа с первой площадки болота Червенское (Галое)

Глубина отбора проб, см	Вид торфа	Степень разложения торфа, %	Влажность торфа, %	Зольность торфа, %
0–0,25	Магелланум	10	95,9	4,3
0,25–0,5	Магелланум	15	93,5	5,4
0,5–0,75	Пушицево-сфагновый	15	94,3	2,4
0,75–1,0	Магелланум	20	94,9	1,5
1,0–1,25	Магелланум	15	95,3	2,7
1,25–1,5	Магелланум	20	94,8	2,6
1,5–1,75	Пушицево-сфагновый	25	92,5	1,8
1,75–2,0	Пушицево-сфагновый	30	93,1	1,3
2,0–2,2	Пушицевый	35	88,5	2,3

На первой площадке наблюдений (табл. 2), согласно данным стратиграфического бурения, первоначально образование торфяной залежи происходило в условиях бедного водно-минерального питания, вследствие чего здесь отложился пушицевый затем пушицево-сфагновый верховой торф со степенью разложения 25–35 %. С ростом толщины слоя залежь переходила в верховой магелланум торф малой степени разложения 10–20 %. Мощность залежи торфа составляет 2,0–2,2 м. Зольность образцов торфа изменяется от 1,3 до 5,4 %. Влажность торфяной залежи – от 88,5 до 95,9 %. Торфяная залежь подстилается песком. На первом пункте наблюдений мониторинговой площадки до повторного заболачивания в 2007 г. влажность верхнего 25-сантиметрового слоя торфяной залежи была меньше (92,5 %), а после повторного заболачивания в 2010 г. влажность (95,9 %) приняла характерные значения для сфагновых верховых болот, находящихся в естественном состоянии (табл. 2).

На процесс превращения растительного материала в торф влияют многие факторы, среди которых особая роль принадлежит химическому составу болотных вод [13, 17].

В водах верховых болот основными ионами солей, которые определяют ее минерализацию и ионный состав являются: анионы гидрокарбонатные HCO_3^- , сульфатные SO_4^{2-} , хлоридные Cl^- и катионы кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} , натрия Na^+ , калия K^+ . В воде также содержатся ионы биогенных веществ, играющие огромную роль в жизнедеятельности водных организмов, но мало влияющие на минерализацию воды – нитратные NO_3^- , нитритные NO_2^- , ионы аммония NH_4^+ , ионы фосфорной кислоты H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} , ионы кремниевой кислоты HSiO_3^- , SiO_3^{2-} ионы железа Fe^{2+} , Fe^{3+} и др. Содержание K^+ , NO_3^- , NH_4^+ , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} непостоянно в течение года и уменьшается от весны к лету, что связано с усиленным потреблением этих элементов живыми растениями в период вегетации [4]. Сумма концентрации наиболее распространенных двухвалентных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} называется общей жесткостью воды.

В катионном составе болотных вод торфяных залежей преобладают ионы кальция, концентрация ионов магния небольшая [8, 14]. При осушении болот увеличивается минерализация болотной воды за счет высвобождения большей частью сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов кальция Ca^{2+} ,

магния Mg^{2+} и реже гидрокарбонатов HCO_3^- при интенсивной минерализации торфа. Сульфиты накапливаются в болотной воде при окислении органических веществ торфа и сульфидных минералов железа (пирита, гидропирита) в результате дополнительной аэрации торфяной залежи после осушения [6, 9].

Повышение в болотных водах ионов кальция и магния связано с их выносом при минерализации торфа, в котором они содержались преимущественно в ионообменной форме [10]. Общая минерализация вод естественных верховых болот Беларуси – 5,0–50 мг/л [6, 8, 11]. В Березинском биосферном заповеднике общая мине-

рализация болотных вод верхового болота (станционар Домжерицы) составила 12–20 мг/л, переходного участка – 52 мг/л, низинного (станционар Пострежье) – 71–470 мг/л [2]. Воды верховых болот характеризуются преобладанием среди анионных компонентов хлора, высоким содержанием растворимых органических веществ и низким значением pH [8, 14].

Для химического анализа воды в лабораторных условиях были отобраны пробы из колодца № 1 в 2007–2011 гг. на первой площадке наблюдений болота Червенское (Галое). Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав проб воды, отобранных на первой площадке наблюдений восстанавливаемого болота Червенское (Галое)

Ингредиент	Единица измерения	Колодец		
		2007 г.	2010 г.	2011 г.
Гидрокарбонаты, HCO_3^-	мг/л	9,90	6,10	6,10
Кальций, Ca^{2+}	мг/л	2,80	1,60	2,00
Магний, Mg^{2+}	мг/л	1,48	1,46	1,22
Натрий, Na^+ + калий, K^+	мг/л	2,4	1,7	3,5
Хлориды, Cl^-	мг/л	6,83	6,81	6,81
Сульфаты, SO_4^{2-}	мг/л	1,1	0,80	0,60
Азот аммонийный, NH_4^+	мг/л	3,21	2,89	3,29
Азот нитритный, NO_2^-	мг/л	0,003	Не обн.	0,003
Азот нитратный, NO_3^-	мг/л	0,254	0,248	0,040
Фосфаты, $H_2PO_4^-$	мг/л	0,195	0,009	0,195
Жесткость	мг-экв/л	0,3	0,2	0,2
Минерализация	мг/л	26,1	20,30	21,70
pH		4,6	4,3	4,0

Минерализация воды в первом колодце площадки наблюдений восстанавливаемого после осушения лесной мелиорацией верхового болота Галое в 2007 г. составила 26,1 мг/л, а в 2011 г. – 21,7 мг/л. Болотные воды естественных верховых болот по составу и содержанию солей приближаются к атмосферным осадкам, их минерализация, как правило, находится в пределах 10–50 мг/л [11].

Как видно из табл. 3, после повторного заболачивания в 2010, 2011 гг. на первой площадке наблюдений общая минерализация проб воды снизилась. Уменьшение значений сульфат-ионов, ионов кальция, магния, гидрокарбонатов HCO_3^- и минерализации в целом в воде, отобранный из колодца на площадке наблюдений, показывает, что после поднятия уровня болотных вод происходит восстановление болотообразовательных процессов на этом участке.

В табл. 4 приведены показатели уровня болотных вод (УБВ), pH, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) торфяной залежи, полученные на первой площадке наблюдений нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое) в 2007–2011 гг.

Как видно из табл. 4, средний за вегетационный период окислительно-восстановительный

потенциал (ОВП) торфяной залежи на глубинах 5–10, 25 см в 2007 г. составил +190, –30 мВ, а в 2011 г. – +150, –120 мВ соответственно. На этом участке периодически происходят биохимические процессы окисления и восстановления. После проведения повторного заболачивания на глубине 0,25 м стали преобладать восстановительные процессы.

Колебания уровня болотных вод (УБВ) зависят в первую очередь от количества атмосферных осадков и их распределения в течение года. Колебания УБВ в 2007 г. составили +10–(–40) см, а в 2011 г. – +10–(–20) см. Снижение амплитуды колебания УБВ болота на первой площадке наблюдений позволило ускорить процесс восстановления болотной растительности, характерной для верхового болота.

В осушенных болотах значения pH всегда меньше, чем в неосушенных. Для осушенных верховых болот pH = 4–6,6, неосушенных – 3,5–5,9 [12]. Средние значения pH в воде, отобранный из залежи, изменились на первой площадке с 4,3 в 2007 г. до 3,8 в 2011 г. Уменьшение значения pH в 2011 г. показывает усиление процессов восстановления болота на этом участке.

Таблица 4. Показатели УБВ, рН, ОВП, полученные на первой площадке наблюдений нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое)

Показатель	Среднегодовое значение	Пределы изменений в течение года
УБВ, см 2007 г. 2011 г.	-20 -10	+10–40 +10–20
рН 2007 г. 2011 г.	4,3 3,8	3,9–4,6 3,4–4,1
ОВП, мВ 2007 г. глубины 0,05–0,1 м; 0,25 м	+190 -30	+100 – (+250) -120 – (+150)
2011 г. глубины 0,05–0,1 м; 0,25 м	+150 -120	+50 – (+200) -240 – (+30)

Вторая площадка наблюдений ($53^{\circ}40'26''$ с. ш., $028^{\circ}22'68''$ в. д.) (рис. 1, 3) расположена на расстоянии 500 м на север от пункта 1, в 200 м на север от магистрального канала.

В 2001 г. в результате низового пожара здесь почти полностью была уничтожена травяная и моховая растительность и серьезно поврежден древостой.

К 2007 г. растительный покров частично восстановился. Древесный ярус был представлен обгоревшей береской (*Betula pendula*) (высота 3–5 м, диаметр 5–15 см), обгоревшей сосновой

(*Pinus sylvestris*) (высота до 6 м, диаметр 5–15 см), появилась поросль берески от 0,5 до 2 м. Обгоревшие сосны и берески составили 85 %, естественные – 15 %. На подсушеннем участке в кустарниковом ярусе встречаются багульник, голубика, подбел обыкновенный, из полукустарниковых – черника, брусника (небольшими вкраплениями). В напочвенном покрове фон образовали: пушица влагалищная, сфагновые и гипновые мхи. В настоящее время доминирует *Sphagnum magellanicum*, формирующий кочки (средняя высота кочек 30–35 см).



Рис. 3. Вторая площадка наблюдений торфяника Червенское (Галое)

В табл. 5 представлены виды растительности и ее доля проективного покрытия от площади на второй площадке наблюдений до (2007 г.) и после повторного заболачивания (2011 г.) нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое).

Как видно из табл. 5, современное состояние растительности на второй площадке наблюдений показывает положительную динамику в протекании процессов повторного заболачивания. К 2010 г. увеличился процент проективного покрытия типично верховых болотных видов растительности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) с 11,5 до 15,5 %, подбела обыкновенного (*Andromeda polifolia*) – с 11,4 до 15,4 %, сфагновых мхов – с 28,5 до 35,5 %, клюквы болотной (*Oxycoccus palustris*) – с 0 до 3,5 % и пушкицы влагалищной (*Eriophorum vaginatum*) – с

5,2 до 10,3 % при одновременном уменьшении доли зеленых мхов 31,6–22,8 %, в древостое березы повислой (*Betula pendula*) – с 35,3 до 20,1 %, Осины обыкновенной (*Populus tremula*) – с 0,9 до 0,1 и голубики – с 25,2 до 20,1 %, довольно стабильные показатели у багульника болотного (*Ledum palustre*) – 37,8–35,3 %. Единично встречаются черника (*Vaccinium myrtillus*) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea*).

Полученные данные показывают, что после повторного заболачивания увеличилась площадь проективного покрытия сосны, подбела обыкновенного и сфагновых мхов, характерных для этого верхового болота. Это произошло за счет регулирования водного режима на болоте.

В табл. 6 представлены качественные характеристики торфа, отобранного в 2010 г. со второй площадки наблюдений.

Таблица 5. Виды растений и доля их проективного покрытия до и после проведения повторного заболачивания на второй площадке болота Червенское (Галое)

Вид растения	Проективное покрытие, %	
	2007 г.	2011 г.
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	35,3	20,1
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	11,5	15,5
Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>)	0,9	0,1
Багульник болотный (<i>Ledum palustre</i>)	37,8	35,3
Голубика (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	25,2	20,1
Подбел обыкновенный (<i>Andromeda polifolia</i>)	11,4	15,4
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	0,6	0,5
Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	0,3	0,4
Пушкица влагалищная (<i>Eriophorum vaginatum</i>)	5,2	8,3
Клюква болотная (<i>Oxycoccus palustris</i>)	0	3,5
Аулакомиум болотный (<i>Aulacomnium palustre</i>)	0,2	0,1
Плевроцимум Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i>)	0,9	0,2
Политрихум сжатый (<i>Polytrichum strictum</i>)	30,5	22,5
Сфагновые мхи (<i>Sphagnum sp.</i>)	28,5	35,5

Таблица 6. Качественная характеристика торфа со второй площадки наблюдений болота Червенское (Галое)

Глубина отбора проб, см	Вид торфа	Степень разложения торфа, %	Влажность торфа, %	Зольность торфа, %
0,00–0,25	Магелланикум	10	92,6*	4,8
0,25–0,50	Ангустифолиум	10	93,2	2,4
0,50–0,75	Ангустифолиум	15	93,2	2,6
0,75–1,00	Магелланикум	25	92,8	1,7
1,00–1,25	Сосново-сфагновый	30	92,1	1,1
1,25–1,50	Пушицево-сфагновый	30	91,1	1,0
1,50–1,75	Пушицево-сфагновый	30	91,9	1,1
1,75–2,00	Пушицево-сфагновый	35	91,0	1,3
2,00–2,25	Пушицево-сфагновый	35	89,8	1,4
2,25–2,40	Пушицево-сфагновый	35	88,1	2,2
2,40–2,50	Тростниковый переходный	40	83,8	13,3

Во второй площадке наблюдений (табл. 6), согласно данным стратиграфического бурения, первоначально образование торфяной залежи происходило в условиях более богатого, чем в первом пункте, водно-минерального питания, вследствие чего здесь первоначально отложился

тростниковый переходный торф со степенью разложения 40 %. С ростом толщины слоя залежь переходила в пушицево-сфагновый, сосново-сфагновый верховой торф со степенью разложения 30–35 %, затем – в магелланикум и ангустифолиум торф средней и малой степени

разложения 10–25 %. После осушения вследствие частых пожаров верхняя часть залежи выгорела (рис. 3). Мощность оставшейся залежи торфа составляет 2,2–2,5 м, зольность образцов торфа изменяется от 1,0 до 13,3 %, влажность торфяной залежи – 83,8–93,2 %. Торфяная залежь подстилается песком. Во второй площадке наблюдений после повторного заболачивания влажность верхнего слоя торфяной залежи составила 92,6 % (табл. 6). При одинаковых значениях степени разложения и ботаническом составе влажность торфа в верхней части на этом участке меньше, чем на первом (95,9 %). Этот

участок был более подсущен. До повторного заболачивания в 2007 г. значение влажности верхнего 25-сантиметрового слоя торфяной залежи было значительно меньше (78,5 %), чем на первом участке (92,5 %). Поэтому на 2011 г. влагоемкость верхней части залежи болотной экосистемы восстановилась не полностью.

Для химического анализа воды в лабораторных условиях были отобраны пробы из второго колодца в 2007–2011 гг. на второй площадке наблюдений болота Галое. Результаты приведены в табл. 7.

Таблица 7. Химический состав проб воды, отобранных на второй площадке наблюдений восстанавливаемого болота Червенское (Галое)

Ингредиент	Единица измерения	Колодец № 2		
		2007 г.	2010 г.	2011 г.
Гидрокарбонаты, HCO_3^-	мг/л	11,10	6,10	3,05
Кальций, Ca^{2+}	мг/л	2,90	1,60	2,00
Магний, Mg^{2+}	мг/л	1,43	1,46	1,22
Натрий, Na^+ + калий, K^+	мг/л	2,30	1,40	2,30
Хлориды, Cl^-	мг/л	6,85	6,81	5,11
Сульфаты, SO_4^{2-}	мг/л	1,17	0,80	1,14
Азот аммонийный, NH_4^+	мг/л	6,01	3,95	5,99
Азот нитритный, NO_2^-	мг/л	0,02	Не обн.	0,004
Азот нитратный, NO_3^-	мг/л	0,30	0,316	0,023
Фосфаты, H_2PO_4^-	мг/л	0,15	0,015	0,15
Жесткость	мг-экв/л	0,3	0,2	0,2
Минерализация	мг/л	27,60	20,70	16,20
pH		4,9	4,2	3,8

Из табл. 7 видно, что минерализация воды во втором колодце площадки наблюдений верхового болота Галое снизилась в 2011 г. по сравнению с 2007 г. с 27,6 до 16,2 мг/л за счет уменьшения ионов гидрокарбонатов и кальция после повторного заболачивания. Уменьшения значений сульфат-ионов, ионов кальция, магния, гидрокарбонатов HCO_3^- и минерализации в целом в воде, отобранной из скважины на площадке наблюдений, показывает, что после поднятия уровня болотных вод восстановление болотообразовательных процессов на этом участке идет интенсивнее, чем на первом.

В напочвенном покрове площадки наблюдений гипновые мхи составляли в 2007 г. 100 %, в 2010 г. гипновые – 65 %; сфагновые – 35; в 2011 г. гипновые – 55 %; сфагновые – 45.

В табл. 8 приведены показатели уровня болотных вод, pH, окислительно-восстановительного потенциала, полученные на второй площадке наблюдений, нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое) в 2007–2011 гг.

Из табл. 8 следует, что средний за вегетационный период окислительно-восстановительный потенциал, торфяной залежи на глубинах 5–10, 25 см в 2007 г. составил +230, +190 мВ, а в 2011 г. – +170, +150 соответственно. После проведения в 2008 г. повторного заболачивания здесь усилились восстановительные процессы, хотя на этом участке торфяная залежь подсуще-

на и более интенсивно аэрируется, чем на первом.

Колебания уровня болотных вод в 2007 г. составили (-10)–(-50) см ниже поверхности торфяной залежи, а в 2011 – (+5)–(-20) см. Средние значения УБВ в 2007 г. составили (-30) см ниже поверхности торфяника, а в 2011 г. – (-10) см. Проведение повторного заболачивания стабилизировало гидрологический режим на этой территории. Снижение амплитуды колебания УБВ болота на второй площадке наблюдений, позволяет ускорить процесс восстановления болотной растительности, характерной для верховых болот.

В осушенных болотах значения pH всегда меньше, чем в неосушенных. Для осушенных верховых болот $\text{pH} = 4$ –6,6, неосушенных – 3,5–5,9 [12].

Средние значения pH в воде, отобранной из залежи, изменились на второй площадке наблюдений с 4,4 в 2007 г. до 3,6 в 2011 г. Уменьшение значения pH в 2011 г. показывает усиление процессов восстановления болота на этом участке так же, как и на первом.

На основании проведенных исследований установлено следующее.

На площадках наблюдений процессы повторного заболачивания нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое) идут с разной интенсивностью.

Таблица 8. Показатели УБВ, рН, ОВП, полученные на второй площадке наблюдений нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое)

Показатели	Среднегодовое значение	Пределы изменений в течение года
УБВ, м;		
2007 г.	-30	(-10)–(-50)
2011 г.	-10	(+5)–(-20)
pH;		
2007 г.	4,4	4,1–5,1
2011 г.	3,6	3,3–4,1
ОВП, мВ;		
2007 г., глубины:		
0,05–0,1 м;	+230	+150 – +340
0,25 м	+190	+120 – +250
2011 г., глубины:		
0,05–0,1 м;	+170	+140 – +300
0,25 м	+150	+90 – +190

После повторного заболачивания на площадках наблюдений увеличилась площадь проективного покрытия растительности, характерной для естественного верхового болота.

На обеих площадках наблюдений усилились восстановительные процессы и ослабли окислительные.

Снижение амплитуды колебаний уровня грунтовых вод на всех участках ускорило процесс восстановления болотной растительности, характерной для верхового болота.

После повторного заболачивания на площадках наблюдений влажность верхнего слоя

торфяной залежи приняла характерные значения для верховых болот в естественном состоянии.

Уменьшение значения pH на двух площадках наблюдений показывает усиление процессов восстановления верхового болота.

Регулирование водного режима на болоте позволило прекратить многочисленные пожары и стабилизировать болотообразовательные процессы.

Для более достоверных результатов мониторинговых данных необходим длительный период наблюдений за процессом восстановления болота.

Л и т е р а т у р а

1. Варлыгин, П. Д., Минкина, Ц. И. Унифицированные правила определения степени разложения торфа микроскопическим методом / П. Д. Варлыгин, Ц. И. Минкина. Минск, 1945.
2. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / под ред. К. И Лукашова. Минск, 1985.
3. Домбровская, А. В., Коренева, М. И., Тюремнов, С. Н. Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе / А. В. Домбровская, М. И. Коренева, С. Н. Тюремнов. М.–Л., 1959.
4. Ефимов, В. Н. Торфяные почвы / В. Н. Ефимов. М., 1980.
5. Инструкция по разведке торфяных месторождений. М-во геологии СССР. М., 1984.
6. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Минск, 2005.
7. Кац, Н. Я., Кац, С. В., Скобеева, Е. И. Атлас растительных остатков в торфах / Н. Я. Кац, С. В. Кац, Е. И. Скобеева. М., 1977.
8. Ковалев, В. А., Жуховицкая, А. Л. Геохимическая характеристика вод основных болотных районов Беларуси // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорирования почв Полесья / В. А. Ковалев, А. Л. Жуховицкая. М., 1974. С. 27–57.
9. Кудельский, А. В., Фадеева, М. В., Шиманович, В. М. О влиянии осушительных мелиораций на изменение химического состава грунтовых вод / А. В. Кудельский, М. В. Фадеева, В. М. Шиманович // Докл. АН БССР. 1973. Вып. 17, № 7. С. 648–651.
10. Кудельский, А. В., Пашкевич, В. И., Ясовеев, М. Г. Подземные воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Ясовеев. Минск, 1998.
11. Кухарчик, Т. И. Верховые болота Беларуси: трансформация, проблемы использования / Т. И. Кухарчик. Мн., 1996.
12. Ларгин, И. Ф., Лавров, Н. В. Исследование состава и свойств торфяно-болотных вод в целях охраны окружающей среды // Методы изучения болот и их охрана : материалы конференции / И. Ф. Ларгин, Н. В. Лавров. Вильнюс, 1986. С. 53–57.
13. Лиштван, И. И., Король, Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1975.
14. Лукашов, К. И. Геохимия озерно-болотного литогенеза / К. И. Лукашов. Минск, 1971.
15. Орлов, Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. М., 1985.
16. Биосферно-совместимое использование лесных и болотных экосистем / В. М. Подоляко [и др.]. Минск, 2003.
17. Раковский, В. Е., Пигулевская, Л. В. Химия и генезис торфа / В. Е. Раковский, Л. В. Пигулевская. М., 1978.

18. Торф. Термины и определения : ГОСТ 21123-85. М., 1985.
19. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. М., 1976.
20. Тюремнов, С. Н., Ларгин, И. Ф., Ефимова, С. Ф., Скобеева, Е. И. Торфяные месторождения и их разведка (Руководство по лабораторно-практическим занятиям) / С. Н. Тюремнов, И. Ф. Ларгин, С. Ф. Ефимова, Е. И. Скобеева. М., 1977.
21. Унифицированные методы анализа вод / под ред. Ю. Ю. Лурье. М., 1973.

Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 27.02.2012

V. A. Rakovich, O. N. Ratnikova

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННОГО МЕЛИОРАЦИЕЙ ЛЕСНОГО БОЛОТА ЧЕРВЕНСКОЕ (ГАЛОЕ)

Выполнена оценка процессов изменений до и после повторного заболачивания нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое), расположенного в Червенском районе Минской области. Получены данные ботанического состава, степени разложения, зольности, влажности, уровня болотных вод, pH, окислительно-восстановительного потенциала, химического состава воды, описан растительный покров в двух пунктах мониторинговой площадки

На площадках наблюдений процессы повторного заболачивания нарушенного лесной мелиорацией болота Червенское (Галое) идут с разной интенсивностью.

После повторного заболачивания на площадках наблюдений увеличилась площадь проективного покрытия растительности характерной для естественного верхового болота.

На обеих площадках наблюдений усилились восстановительные процессы и ослабли окислительные.

Снижение амплитуды колебаний уровня болотных вод на всех участках ускорило процесс восстановления болотной растительности, характерной для верхового болота.

После повторного заболачивания на площадках наблюдений влажность верхнего слоя торфяной залежи приняла характерные значения для верховых болот в естественном состоянии.

Уменьшение значения pH на двух площадках наблюдений показывает усиление процессов восстановления верхового болота.

Регулирование водного режима на болоте позволило прекратить многочисленные пожары и стабилизировать болотообразовательные процессы.

Для более достоверных результатов мониторинговых данных необходим более длительный период наблюдений за процессом восстановления болота.

V. A. Rakovich, O. N. Ratnikova

RECLAMATION OF THE DISTURBED BY AMELIORATION OF FOREST BOG CHERVENSKOYE (GALOYE)

The estimation of processes of changes prior and post re-bogging of the mire Chervenskoye (Galoye) disturbed by wood land amelioration and located in Cherven area of the Minsk district has been done. Data of botanical structure, decomposition degree, ash content, humidity, level of mire waters, pH, oxidation-reduction potential, a water chemical compound were gained, the vegetative cover in two points of monitoring site has been described.

On observation sites the processes of re-bogging of the disturbed by forest amelioration mire Chervenskoye (Galoye) run with various intensity.

After re-bogging on observation sites the area of a projective covering of the vegetation, characteristic for a natural raised bog has increased.

On both observation sites the regenerative processes increased and the oxidizing decreased.

The decrease in amplitude of fluctuations of bog waters level on all sites has accelerated the process of restoration of mire vegetation, characteristic for a raised bog.

After re-bogging on observation sites, the humidity of the top layer of a peat deposit acquired characteristic values for raised bogs in a natural condition.

The pH value reduction on two observation sites shows a strengthening of restoration processes of a raised bog.

The control of a water mode on a bog has allowed to stop numerous fires and to stabilize bog-formation processes.

For more true results of monitoring data, a longer observation period over a bog restoration process is required.

Т. Г. Флерко, О. В. Шершнев

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД КОЛОДЦЕВ

Представлены результаты исследования ландшафтно-экологических условий размещения сельских поселений Гомельской области. Проведена группировка сельских населенных пунктов по степени защищенности грунтовых вод. Выполнена оценка естественной защищенности вод колодцев в пределах административных районов. Установлена зависимость химического загрязнения вод колодцев от ландшафтных условий населенных пунктов, а также рост удельного веса нестандартных проб на нитраты от площади пахотных земель.

Колодцы играют существенную роль в обеспечении населения питьевой водой. В Беларуси они выступают источниками водоснабжения 47 % сельского населения [1]. Поэтому состояние вод колодцев относится к числу ключевых факторов, определяющих экологические условия жизни сельского населения. Отсюда важность его оценки.

В Беларуси подобного рода вопросам уделяется особое внимание. В исследованиях А. В. Кудельского, В. И. Пашкевича [5, 6, 7, 10], М. П. Оношко [9], В. Ф. Логинова, М. Ю. Калинина [8], В. Г. Жогло [2] и других разработана методология оценки загрязнения подземных вод, дана характеристика их состояния. В стране организован мониторинг качества вод колодцев, проводимый санитарной службой Министерства здравоохранения.

Вместе с тем некоторые важные для оценки состояния вод колодцев вопросы требуют уточнения. Это относится, в частности, к проявлению региональной и местной специфики их загрязнения, зависимости его уровней от природно-ландшафтных и экологических условий размещения сельских поселений.

Исследование охватывает территорию Гомельской области, в которой проблема экологического состояния населенных пунктов характеризуется особой остротой в силу того, что большая их часть подвержена радиоактивному загрязнению. Соответственно, загрязнение вод колодцев в этих поселениях еще в большей мере усложняет экологические условия проживания населения.

Проблемы загрязнения подземных вод Гомельской области рассматривались В. Г. Жогло [2], В. В. Коцур [4], О. В. Шершневым. Однако они относились преимущественно к водным ресурсам, используемым для централизованного водоснабжения, а не к водам колодцев.

В Гомельской области в качестве источников нецентрализованного водоснабжения используется около 12 тыс. общественных и более 48 тыс. индивидуальных колодцев. В питьевых целях колодезную воду употребляют 1,7 % городского и 42,3 % сельского населения [3], что составляет примерно 200 тыс. чел.

Цель работы заключалась в выявлении особенностей химического загрязнения вод колодцев сельских поселений Гомельской области в зависимости от ландшафтно-экологических условий их размещения. Для ее достижения потребовалось решить две задачи:

оценить ландшафтно-экологические условия размещения сельских населенных пунктов региона;

определить уровни химического загрязнения вод колодцев и установить их связь с ландшафтно-экологическими условиями размещения населенных пунктов.

Фактическую основу исследования химического загрязнения вод колодцев составили данные санитарно-эпидемиологической службы Гомельской области и полевые экспедиционные исследования авторов.

Ландшафтные условия защищенности грунтовых вод сельских поселений. При оценке ландшафтно-экологических условий размещения населенных пунктов следует уделять внимание факторам, от которых зависит качество вод колодцев, к которым относятся факторы их устойчивости к загрязнению и факторы загрязняющих воздействий на эти воды.

Как правило, воды колодцев являются грунтовыми, которые согласно классификации, применяемой в нормативных документах, относятся к классу недостаточно защищенных [11]. Их состояние в первую очередь зависит от ландшафтной основы.

Объединение всех грунтовых вод в один класс недостаточно защищенных отражает их специфику по сравнению с подземными водами более глубоких водоносных горизонтов, которые относятся к защищенным. Вместе с тем внутри указанного класса они будут различаться по степени защищенности, исходя из мощности зоны аэрации и механического состава слагающих ее грунтов. Это создает основание для их внутренней дифференциации по данному признаку.

Защищенность грунтовых вод зависит от ландшафтных условий территории их залегания. Различные типы ландшафтов характеризуются своим специфическим набором факторов, определяющих проникновение загрязняющих ве-

ществ в грунтовые воды. В самом общем виде группировку ландшафтов по данному критерию можно провести, исходя из их высотного положения. По этому признаку на территории Беларуси выделяются ландшафты возвышенные (абсолютные отметки выше 200 м), средневысотные (абсолютные отметки 150–200 м) и низменные (абсолютные отметки менее 150 м).

Группа возвышенных ландшафтов представлена в Гомельской области только одним родом – холмисто-моренно-эрэзационных ландшафтов. Они характеризуются самым глубоким залеганием грунтовых вод – 30–50 м и более. В литологическом составе зоны аэрации чаще встречаются слабопроницаемые породы – супеси и частично суглинки. Следовательно, грунтовые воды этих ландшафтов следует отнести к более защищенным.

Средневысотные ландшафты представлены вторично-моренными, моренно-зандровыми и вторичными водно-ледниковыми. Глубина грунтовых вод здесь меньше, чем у возвышенных ландшафтов, и составляет от 2–5 м на юго-западе области в пределах вторичных водно-ледниковых равнин до 30 м на северо-востоке в границах вторично-моренных ландшафтов. В отложениях зоны аэрации более высокую долю занимают проницаемые породы – рыхлые супеси и пески. Поэтому грунтовые воды этих родов ландшафтов можно отнести к средне защищенным.

Низменные ландшафты наиболее широко распространены на территории Гомельской области. Они включают аллювиально-террасированные, озерно-аллювиальные, озерно-болотные, пойменные ландшафты и ландшафты речных долин. Грунтовые воды здесь залегают на небольшой глубине – в среднем до 3 м. В вертикальном разрезе ландшафты представлены, главным образом, песками, которые отличаются высокой проницаемостью. В таких условиях грунтовые воды являются наименее защищенными.

Представленная структуризация ландшафтов по степени защищенности грунтовых вод позволяет провести ранжирование населенных пунктов с учетом их размещения в тех или иных ландшафтных условиях. Те из них, которые расположены в пределах возвышенных ландшафтов, будут характеризоваться наибольшей степенью защищенности вод колодцев. Воды колодцев населенных пунктов, расположенных в пределах средневысотных ландшафтов можно отнести к средне защищенным, а в пределах низменных ландшафтов – к менее защищенным.

С учетом ландшафтного критерия оценки проведена группировка сельских поселений Гомельской области по степени защищенности грунтовых вод. Установлено, что преобладающая их часть – 60,5 % – относится к группам более и средне защищенных, оставшиеся 39,5 % населенных пунктов – к менее защищенным (рис. 1).

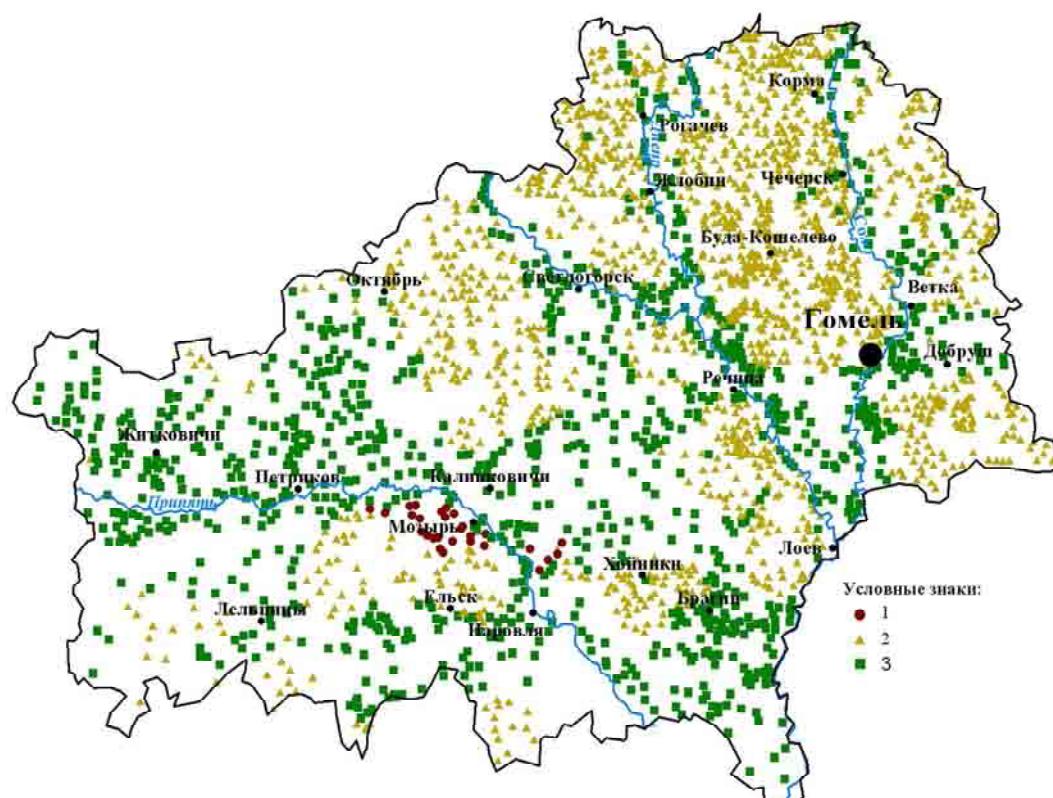


Рис. 1. Распределение сельских поселений Гомельской области по защищенности грунтовых вод:
1 – более защищенные; 2 – средне защищенные; 3 – менее защищенные

Оценка естественной защищенности вод колодцев в пределах административных районов. Для проведения подобного рода оценки необходимы соответствующие количественные показатели, которые могли бы интегрировать существующее в пределах районов многообразие ландшафтных условий размещения населенных пунктов, а следовательно, и степень защищенности грунтовых вод. Определение таких показателей возможно при использовании методики балльной оценки.

Данная методика предполагает присвоение определенных численных значений (баллов) населенным пунктам с различной степенью защищенности грунтовых вод и последующий расчет средней взвешенной величины суммарного балла для административного района. В рассматриваемом случае присвоены значения 3, 2 и 1 балл населенным пунктам, соответственно, с более, средне и менее защищенными грунтовыми водами. Расчет средней взвешенной величины балла их защищенности для всех населенных пунктов районов проводился по следующей формуле:

$$Pi = \frac{3n_1 + 2n_2 + n_3}{N},$$

где Pi – интегральная оценка защищенности грунтовых вод населенных пунктов i -го района (показатель защищенности); n_1 – количество населенных пунктов с более защищенными грунтовыми водами; n_2 – количество населенных пунктов со среднезащищенными грунтовыми водами; n_3 – количество населенных пунктов с менее защищенными грунтовыми водами; N – общее количество населенных пунктов в районе.

Выполненные расчеты показали, что показатель защищенности грунтовых вод сельских населенных пунктов по районам меняется в диапазоне от 1,0 балла в Петриковском районе до 1,9 баллов в Буда-Кошелевском, Мозырском, Рогачевском и Чечерском районах. Между численным значением данного показателя и защищенностью грунтовых вод существует прямая зависимость: чем он выше, тем выше защищенность. Соответственно, распределение районов в порядке его уменьшения будет означать последовательное ухудшение ландшафтных условий размещения населенных пунктов по степени защищенности грунтовых вод (рис. 3).

Районы с более защищенными грунтовыми водами размещаются в северной части области. Это Буда-Кошелевский (1,9), Рогачевский (1,9), Жлобинский (1,8), Кормянский (1,8) районы. Менее защищенные грунтовые воды в Петриковском (1,0), Житковичском (1,1) и Брагинском (1,1) районах. В таком их расположении находит отражение общий уклон поверхности в сторону р. Припять с переходом от равнинных природных комплексов Предполесской ландшафтной про-

винции к равнинным и низинным природным комплексам Полесской ландшафтной провинции.

Химическое загрязнение вод колодцев в пределах административных районов. Степень естественной защищенности грунтовых вод отражает лишь предпосылки их загрязнения, которые могут быть реализованы только при наличии источников поступления загрязняющих веществ. В качестве таковых выступают вносимые на сельскохозяйственные угодья органические и минеральные удобрения, сточные воды животноводческих комплексов и ферм, объекты захоронения производственных и коммунальных отходов, промышленные предприятия и др. Соответственно, химическое загрязнение вод колодцев выступает как результирующая величина естественной защищенности грунтовых вод и оказываемых на них воздействий.

На региональном уровне прослеживается зависимость указанного загрязнения от ландшафтной специфики территории. Так, в Беларуси, регулярно фиксируется более высокое загрязнение вод колодцев административных областей, расположенных в Полесской ландшафтной провинции, которая отличается низкой естественной защищенностью этих вод (рис. 2). В частности, в Брестской области на протяжении 2000-х гг. уровень санитарно-химического загрязнения вод колодцев в 1,2–1,8 раза и в Гомельской области – в 1,1–1,3 раза был выше среднего по стране [1].

Для оценки современного химического загрязнения вод колодцев по районам Гомельской области использованы данные наблюдений санитарных служб за 2007–2009 гг. (табл. 1). В целом по региону доля нестандартных проб составляет 45,9 %. По отношению к населению это означает, что загрязненную воду потребляют 93,5 тыс. чел., или четвертая часть сельских жителей.

Между отдельными районами имеют место существенные различия по доле нестандартных проб. Минимальной она является в Буда-Кошелевском районе (22 %), максимальной – в Ельском районе (88 %) (рис. 3).

Перечень районов в таблице приведен в том порядке, в котором происходит ухудшение ландшафтных условий размещения в их пределах сельских населенных пунктов – от более к менее благоприятным. Как следует из таблицы, прямой зависимости степени загрязнения вод колодцев от ландшафтных условий размещения населенных пунктов не наблюдается. Снижение соответствующего коэффициента не обязательно сопровождается увеличением доли нестандартных проб. Например, в Мозырском районе ландшафтные условия размещения населенных пунктов наиболее благоприятные, а показатель загрязнения вод колодцев один из самых высоких.

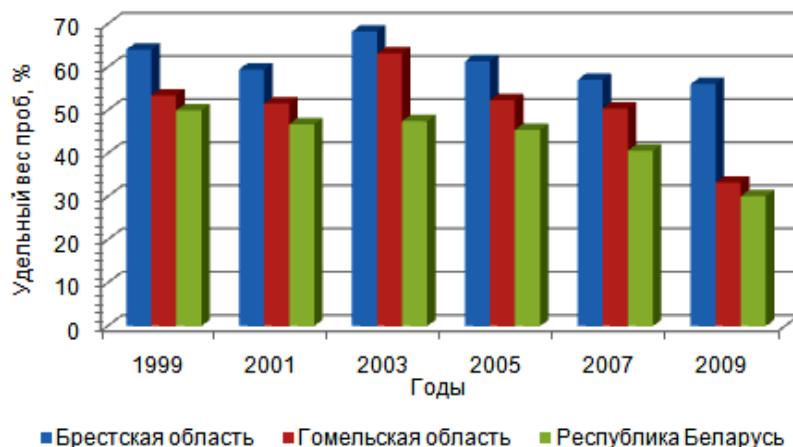


Рис. 2. Динамика удельного веса проб воды колодцев, не отвечающих гигиеническим нормам по санитарно-химическим показателям за 1999–2009 гг., %

Таблица 1. Удельный вес нестандартных проб воды в колодцах на территории административных районов Гомельской области в различные периоды года, 2007–2009 гг.

№ п/п	Район	P_i	Коли- чество проб	Удельный вес нестандартных проб воды, %			
				за весь период	в т.ч. по периодам года		
					январь– март	апрель– июнь	июль– сентябрь
1	Буда-Кошелевский	1,9	581	22,0	50,0	17,0	41,4
2	Мозырский	1,9	254	79,5	77,3	86,5	73,0
3	Рогачевский	1,9	614	49,5	46,3	42,0	59,8
4	Чечерский	1,9	248	56,9	47,6	60,2	57,0
5	Добрушский	1,8	753	29,1	29,6	20,8	28,7
6	Жлобинский	1,8	353	22,9	26,7	21,2	12,8
7	Кормянский	1,8	74	79,7	—	75,0	100,0
8	Октябрьский	1,8	167	29,9	5,9	44,2	34,4
9	Ветковский	1,7	280	48,9	58,2	51,1	50,0
10	Гомельский	1,6	393	57,8	40,2	63,1	60,0
11	Калинковичский	1,6	205	72,2	87,5	80,4	74,0
12	Лоевский	1,6	59	40,7	100,0	20,0	68,8
13	Светлогорский	1,6	194	32,0	32,6	35,4	35,0
14	Хойникский	1,6	201	42,3	18,6	27,6	63,2
15	Лельчицкий	1,5	287	70,7	82,0	73,8	87,9
16	Речицкий	1,5	880	38,6	51,8	28,5	33,3
17	Ельский	1,3	137	88,3	87,2	91,3	85,0
18	Наровлянский	1,3	122	59,0	37,5	55,6	71,1
19	Брагинский	1,1	183	34,4	0,0	45,7	53,8
20	Житковичский	1,1	255	63,9	62,9	67,1	66,3
21	Петриковский	1,0	330	57,0	63,5	47,8	64,6
	Всего	1,6	6570	45,9	46,5	42,2	52,8
							456

Отсутствие прямой зависимости вовсе не означает, что ее не существует вообще. Для того чтобы проверить наличие такой зависимости может использоваться графический метод. С этой целью построен график с отображением коэффициентов, отражающих степень защищенности грунтовых вод населенных пунктов и показателей загрязнения вод колодцев районов, а также линии тренда применительно к последним (рис. 4). Направление линии тренда указывает на снижение коэффициентов, что свидетельствует о на-

личии выявляемой зависимости. Следовательно, ландшафтные условия населенных пунктов играют определенную роль в формировании химического состава грунтовых вод и поступления в них загрязняющих веществ.

В вещественном составе отмеченного загрязнения преобладающую роль играют нитраты (табл. 2). Доля нитратов в формировании нестандартных проб в целом по области составляет 93 %. Более чем в половине районов (в 12 из 21) они всегда присутствуют в отобранных пробах.

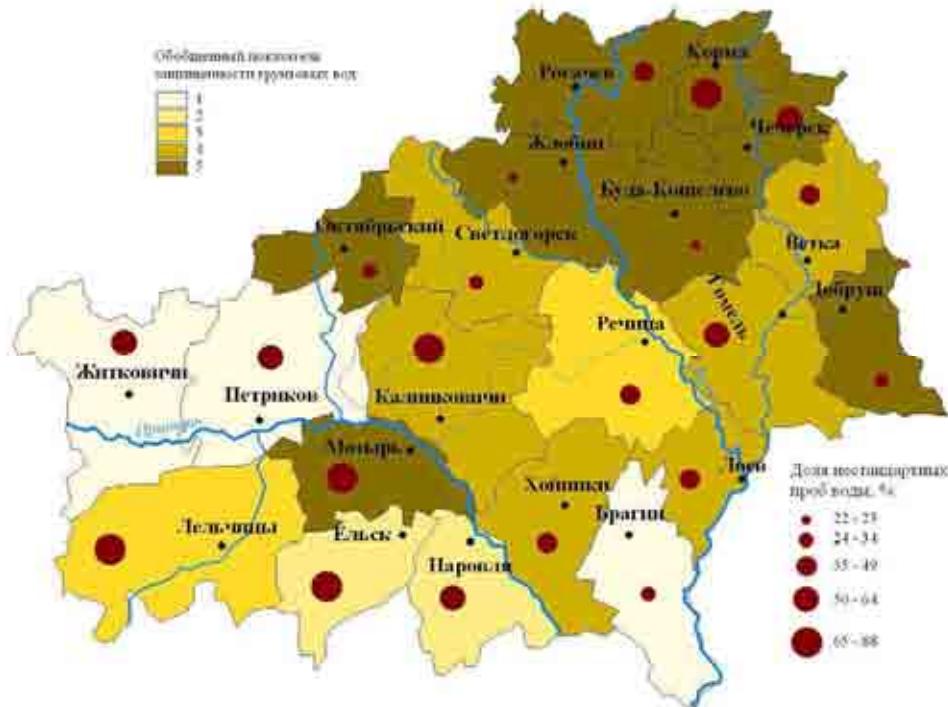


Рис. 3. Качество воды колодцев и обобщенный показатель защищенности грунтовых вод сельских населенных пунктов по районам Гомельской области:
1 – 1,0–1,1; 2 – 1,2–1,3; 3 – 1,4–1,5; 4 – 1,6–1,7; 5 – 1,8–1,9



Рис. 4. Связь между значениями показателя защищенности грунтовых вод (1) и удельным весом нестандартных проб воды в колодцах (2) на территории административных районов Гомельской области (номер административного района соответствует порядковому номеру района в табл. 1)

Уровни нитратного загрязнения колодцев почти в 3/4 случаев составляют 1–2 ПДК, примерно в 1/4 случаев – 2–5 ПДК и в 3 % случаев – выше 5 ПДК. Наиболее часто (11 раз) случаи превышения ПДК более чем в 5 раз отмечались в Наровлянском и Ветковском районах.

Нитраты обладают высокой миграционной активностью. Соответственно, на территории районов в результате совместного действия различных источников их поступления в окружающую среду формируются определенные уровни концентрации нитратов в грунтовых водах, которые способны оказывать загрязняющее влияние на воды колодцев.

В качестве общего показателя, отражающего величину воздействий на грунтовые воды района, можно принять долю пахотных угодий в его пределах. Эти угодья служат местом внесения основных источников нитратов – минеральных и органических удобрений, а также стоков животноводческих предприятий. Следовательно, размещение населенных пунктов в районах с более высоким уровнем сельскохозяйственного освоения и, в частности, пашни, должно создавать предпосылки повышения концентрации нитратов в местных колодцах.

Таблица 2. Уровни превышения ПДК и доля нестандартных проб по содержанию нитратов в водах колодцев на территории административных районов Гомельской области, 2007–2009 гг.

№ п/п	Район	Общее количество проб	Количество проб с превышением ПДК по нитратам			Доля нестандартных проб по содержанию нитратов, %		
			всего	в т.ч. по уровню превышения ПДК		от общего количества проб	от общего количества нестандартных проб	
				1–2 ПДК	2–5 ПДК			
1	Наровлянский	118	72	38	23	11	61,0	100,0
2	Лельчицкий	368	203	156	41	6	55,2	100,0
3	Житковичский	280	163	98	65	0	58,2	100,0
4	Хойникский	98	22	13	8	1	22,5	25,9
5	Брагинский	88	38	24	14	0	43,2	60,3
6	Петриковский	326	188	125	61	2	57,7	100,0
7	Мозырский	359	202	142	53	7	56,3	100,0
8	Октябрьский	100	50	50	0	0	50,0	100,0
9	Ветковский	255	137	72	54	11	53,7	100,0
10	Светлогорский	119	62	55	7	0	52,1	100,0
11	Ельский	210	118	85	28	5	56,2	97,5
12	Чечерский	267	126	126	0	0	47,2	89,4
13	Калинковичский	293	148	145	3	0	50,5	100,0
14	Речицкий	596	340	247	92	1	57,1	100,0
15	Лоевский	40	22	16	6	0	55,0	91,7
16	Гомельский	407	209	179	30	0	51,4	92,1
17	Жлобинский	150	74	67	7	0	49,3	91,4
18	Буда-Кошелевский	235	119	105	13	1	50,6	93,0
19	Кормянский	87	59	28	30	1	67,8	100,0
20	Рогачевский	494	304	170	130	4	61,5	100,0
21	Добрушский	343	146	118	21	7	42,6	66,7
	Всего	5233	2802	2059	686	57	53,5	92,9

Для установления связи между долей пахотных земель и нестандартных проб воды колодцев в районах Гомельской области рассчитан коэффициент парной корреляции, который составил 0,15, что показывает не высокую степень зависимости между показателями.

Кроме расчета коэффициента корреляции также использовался графический метод. Составлены графики, отражающие долю пахотных

угодий, долю нестандартных проб воды по районам и проведена линия тренда (рис. 5).

Анализ тренда свидетельствует о наличии зависимости роста удельного веса нестандартных проб на нитраты от площади пахотных земель, что можно объяснить увеличением объемов вносимых удобрений и средств защиты, которые впоследствии проникают в подземные горизонты.

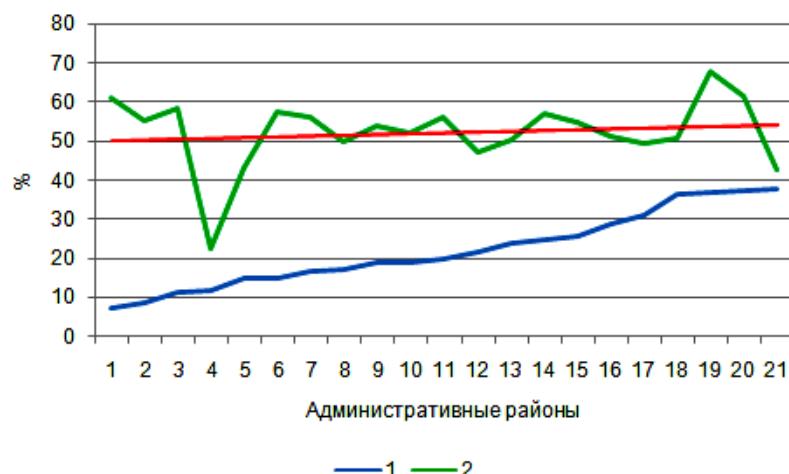


Рис. 5. Связь между долей пахотных угодий (1) и долей нестандартных проб воды по содержанию нитратов в водах колодцев (2) на территории административных районов Гомельской области, 2007–2009 гг. (номер административного района соответствует порядковому номеру района в табл. 2)

Регламентирование качества вод нецентрализованного питьевого водоснабжения. Государственные гарантии по обеспечению сельских жителей питьевой водой устанавливают Закон Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении», Водный кодекс Республики Беларусь и иные нормативные правовые акты Республики Беларусь, регламентирующие вопросы здравоохранения, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

В Республике Беларусь развитию системы питьевого водоснабжения и водоотведения, а также улучшению качества питьевой воды способствует система мероприятий в рамках Государственной программы по водообеспечению и водоотведению «Чистая вода» на 2011–2015 гг., Государственной программы устойчивого развития села на 2011–2015 гг., Национального плана действий по гигиене окружающей среды, Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья, Водной стратегии Республики Беларусь до 2012 г. и др.

Контроль и управление качеством вод колодцев Гомельской области осуществляют санитарные службы. Источники нецентрализованного водоснабжения находятся в ведении коммунальных служб (около 67 % общественных колодцев), сельских советов, сельскохозяйственных организаций. В области также насчитывается около 48 тыс. индивидуальных колодцев, контроль над которыми ведется их владельцами.

Выходы. Степень загрязнения вод колодцев зависит от ландшафтных условий территории распространения подземных вод. Наиболее устойчивыми к загрязнению являются воды, находящиеся в пределах возвышенных и средневысотных ландшафтов. На территории Гомельской области более половины (60,4 %) сельских населенных пунктов относятся к этой категории.

Результирующей величиной естественной защищенности грунтовых вод и оказываемых на

них воздействий (внесение на сельскохозяйственные угодья удобрений, попадание сточных вод и отходов) является химическое загрязнение вод колодцев. При этом прямой зависимости степени загрязнения вод колодцев от ландшафтных условий размещения населенных пунктов не наблюдается. Снижение коэффициента ландшафтных условий не всегда сопровождается увеличением доли нестандартных проб. Минимальное количество проб вод, не соответствующих нормам, отмечается в некоторых северных и восточных районах области, увеличение наблюдается в западных и южных районах.

На сегодняшний день в области не ведется контроль качества вод преобладающей части источников нецентрализованного водоснабжения населения. В рамках государственных и региональных программ предусматривается расширение сети централизованного водоснабжения и строительство станций обезжелезивания только в агрогородках. Проблема водоснабжения средних и малых сельских поселений остается актуальной. Не проводится реконструкция и очистка колодцев, благоустройство мест отбора воды.

С целью улучшения качества питьевого водоснабжения всех категорий сельских населенных пунктов необходимо разработать районные программы, в рамках которых будут выполняться мероприятия по:

инвентаризации общественных и индивидуальных колодцев;

дополнительной оценке качества вод общественных и индивидуальных колодцев;

оценке состояния источников нецентрализованного водоснабжения;

реконструкции источников водоснабжения (очистке, благоустройству мест обора воды);

предотвращению загрязнения вод колодцев.

Эти мероприятия необходимо провести в тех поселениях, где не планируется строительство системы централизованного водоснабжения.

Литература

- Государственный водный кадастр (за 2000–2009 гг.) / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, М-во здравоохранения Республики Беларусь, Комгидромет Респ. Беларусь. Минск, 2001–2010.
- Жогло, В. Г. К оценке естественных пресных подземных вод медуречья Днепра, Припяти, Птичи и Березины / В. Г. Жогло // Природные ресурсы. 2000. № 2. С. 10–26.
- Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Гомельской области в 2010 году» / под ред. В. А. Нараленкова. Гомель, 2011. Вып. 16.
- Коцур, В. В. Масштабы техногенного загрязнения подземных вод в районе Гомельского химзавода / В. В. Коцур // Природные ресурсы. 2003. № 3. С. 97–98.
- Кудельский, А. В. О качестве питьевых подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский [и др.] // Природные ресурсы. 2009. № 1. С. 53–61.
- Кудельский, А. В. Питьевые воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. К. Коваленко // Питание и обмен веществ : сб. науч. статей. Минск, 2008.
- Кудельский, А. В. Подземные воды Беларуси как источник жизнеобеспечения и технологических проблем / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич // Природопользование: экология, экономика, технологии :

- материалы Междунар. научн. практ. конф., г. Минск, 6–8 октября 2010 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол. : В. С. Хомич (отв. ред.) [и др.]. Минск, 2010.
8. Логинов, В. Ф. Современное антропогенное воздействие на водные ресурсы Беларуси / В. Ф. Логинов, М. Ю. Калинин, В. Ф. Иконников. Минск, 2000.
 9. Оношко, М. П. Азот и его минеральные формы в ландшафтах Белоруссии / М. П. Оношко. Минск, 1990.
 10. Пашкевич, В. И. Оценка уровней нитратного загрязнения подземных вод, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения / В. И. Пашкевич [и др.] // Природные ресурсы. 2003. № 3. С. 101–102.
 11. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. М., 1989.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 22.03.2012

T. G. Flerko, O. V. Shershnev

**ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ
ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД КОЛОДЦЕВ**

В статье представлены результаты исследования ландшафтно-экологических условий размещения сельских поселений Гомельской области. Проведена группировка сельских населенных пунктов по степени защищенности грунтовых вод. Установлено, что преобладающая их часть – 60,4 % – относится к группе наиболее защищенных, оставшиеся 40,3 % населенных пунктов – к менее защищенным.

Выполнена оценка естественной защищенности вод колодцев в пределах административных районов. Показано, что районы с наиболее защищенными грунтовыми водами размещаются в северной части области, менее защищенные грунтовые воды – в западных и южных районах.

Проведен анализ показателей, определяющих качество вод колодцев. Установлены различия в степени загрязнения грунтовых вод административных районов. В вещественном составе отмеченного загрязнения преобладающую роль играют нитраты. Доля нитратов в формировании нестандартных проб в целом по области составляет 93 %. Более чем в половине районов они всегда присутствуют в отобранных пробах. Установлена зависимость химического загрязнения вод колодцев от ландшафтных условий населенных пунктов, а также рост удельного веса нестандартных проб на нитраты от площади пахотных земель.

T. G. Flerko, O. V. Shershnev

**THE LANDSCAPE AND ECOLOGICAL CONDITIONS OF RURAL SETTLEMENTS OF THE
GOMEL REGION ARRANGEMENT AND WELL WATERS CHEMICAL CONTAMINATION**

The paper describes the results of investigations of the landscape and ecological conditions of the arrangement of rural settlements. On the basis of the degree of groundwater protection the grouping of rural settlements has been carried out. It has been found that most of them (60,4 %) refer to the group conditions of the most protected groundwater and only 40,3 % of rural settlements have conditions with less protected groundwater.

The estimation of natural protection of groundwater within administrative areas was done. The study demonstrated that areas with the most protected groundwater locate in northern part of the Gomel region, less protected ground waters are in the western and southern areas.

The analysis of the indicators, defining the quality of well water was carried out. Differences in contamination level rate of groundwater within administrative areas were revealed. Nitrate contamination is a common problem with well water in 93 % of chemical analysis of water samples. In more than a half of the administrative areas, they always are present at the chemical analysis of water samples. Relationship between the chemical contamination of well water and situation of rural settlements within the landscape and dependence between the growth of non-standard chemical analysis of water samples with nitrate contamination and the area of arable land was established.

М. И. Струк, С. Г. Живнач

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ МИНСКА

Приведены особенности структуры, пространственного распределения, степени преобразования и эрозионной опасности ландшафтов, слагающих пригородную территорию Минска. Показаны существующие между ландшафтами разного типа различия в хозяйственном освоении и подверженности эрозии. Оценены ландшафтно-экологические условия водосборных бассейнов пригородных водохранилищ.

Прилегающая к городу территория испытывает повышенные антропогенные нагрузки. В ее пределах в наибольшей мере оказывается его загрязняющее влияние. Кроме этого, здесь ведется интенсивное сельское хозяйство пригородной специализации, располагаются различные объекты обслуживания города: зоны отдыха, водозаборы, полигоны складирования отходов, складские помещения и др. [8].

Со временем интенсивность воздействий на пригородную территорию усиливается. В Беларуси на протяжении последних двух десятилетий на прилегающих к городам территориях происходит активное индивидуальное жилищное строительство для нужд городских жителей. По отношению к Минску начата реализация программы создания городов-спутников.

При росте нагрузок на пригородную территорию она не должна утрачивать способностей к выполнению экологических функций по оздоровлению городского воздушного бассейна, обеспечению благоприятного режима и состояния поверхностных и подземных вод, мест отдыха населения. Условием сохранения и повышения эффективности выполнения этих функций является формирование на данной территории оптимальной пространственной структуры природопользования. Для этого нужно принимать во внимание ее природные свойства, в частности, ландшафтное строение.

Ландшафтный подход широко используется в эколого-географических оптимизационных исследованиях [2, 5, 6, 13]. Его достоинством является комплексность оценки природных свойств территории. Данный подход обеспечивает ее дифференциацию на однородные по условиям природопользования и реакции на внешние воздействия пространственные выделы.

Ландшафтный подход имеет универсальное значение. Его нужно применять при изучении любых территориальных выделов. Однако при этом следует принимать во внимание также эколого-хозяйственную специфику последних. Подобного рода специфика по отношению к пригородной территории заключается, прежде всего, в том, что данная территория должна обеспечи-

вать удовлетворение разнообразных природно-ресурсных и экологических потребностей города.

Цель исследований – экологическая оценка ландшафтной организации пригородной территории. Для ее достижения решались задачи по выявлению особенностей структуры, пространственного распределения и состояния ландшафтов применительно к данной территории в целом, а также к водосборным бассейнам основных пригородных водохранилищ.

Объектом изучения выбрана пригородная территория Минска, для которой оптимальная организация природопользования имеет приоритетное значение в силу величины города. По отношению к данной территории ранее выполнялись исследования по оценке природно-ландшафтных предпосылок природопользования. Однако они носили общий характер, были направлены на обоснование направлений ее экологической оптимизации и в основном затрагивали только Минский район [7, 9, 11].

Природно-ресурсный потенциал указанного района в наибольшей степени используется для обеспечения нормального функционирования города. Вместе с тем пригородную территорию, очевидно, не следует ограничивать его размерами, а рассматривать ее в рамках внешних экологических границ города.

Выделенные для Минска внешние экологические границы охватывают его пригородную и зеленую зону, а также весь водосборный бассейн Вилейского водохранилища как водоема-донора для водохранилищ Вилейско-Минской водной системы, которые активно используются для отдыха городских жителей, а также водоснабжения города [10]. Данная территория и выступила объектом исследования.

Ландшафтная организация пригородной территории. Оценка ландшафтной организации пригородной территории включает в себя два этапа исследований: инвентаризационный и собственно оценочный. На первом из них проводится ландшафтное картографирование территории, выявляются особенности ее ландшафтной структуры и пространственного распределения ландшафтов. На втором – определяется пригод-

ность ландшафтов для тех или иных видов использования, их устойчивость к внешним воздействиям и экологическое состояние.

Общее представление о ландшафтном строении пригородной территории Минска может быть получено из ландшафтной карты Беларуси М 1:600 000 [3]. В системе ландшафтного районирования она размещается в пределах двух ландшафтных провинций – Белорусской возвышенной холмисто-моренными-эрэзационных и вторичноморенных ландшафтов и Предполесской вторичных водно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов. Большая ее часть (примерно 2/3 площади, включая г. Минск и территории к северу и западу от него) относится к первой из указанных ландшафтных провинций.

В состав пригородной территории входят шесть ландшафтных районов. Из них 3 (Минский холмисто-моренно-эрэзационный с широколиственно-еловыми и сосновыми лесами, Вилейский вторичноморенный и водно-ледниковый с сосняками, Столбцовский вторичноморенный с сосняками) относятся к Белорусской возвышенной и три (Верхнепетлический вторичный водно-ледниковый с широколиственно-сосновыми и широколиственно-еловыми лесами, Среднепетлический вторичный водно-ледниковый с сосняками и болотами, Борисовский вторичный водно-ледниковый и долинный с сосняками) – к Предполесской ландшафтной провинции.

Ландшафтная карта М 1:600 000 позволяет также установить особенности структуры и пространственного распределения ландшафтов пригородной территории. Однако данный масштаб является слишком мелким для ее планирования. Согласно методологии ландшафтного планирования, для территорий подобного размера адекватным является масштаб 1:200 000 [4], поэтому понадобилось построить ландшафтную карту данного масштаба.

В основу указанной карты были положены карты топографическая, четвертичных отложений и геоморфологическая М 1:200 000. Кроме этого использовались карты растительности М 1:600 000, а также почв М 1:600 000 и 1:50 000.

Ландшафтная карта строилась методом наложения приведенных отраслевых карт. Границы выделяемых ландшафтных контуров определялись по генезису отложений и характеру рельефа, что соответствует методике ландшафтного картографирования.

При выборе территориальных единиц ландшафтной организации пригородной территории использовалась иерархическая схема ландшафтной дифференциации Беларуси, представленная на ландшафтной карте М 1:600 000. Выделены три иерархических уровня такой организации, соответственно, роды, подроды и виды ландшафтов. Роды ландшафтов представляют более высокую ступень ландшафтной иерархии,

далее следуют подроды и затем – виды. Основным признаком выделения родов ландшафтов выступил их генезис и высотное положение, подродов – литологический состав покровных отложений, видов – характер рельефа.

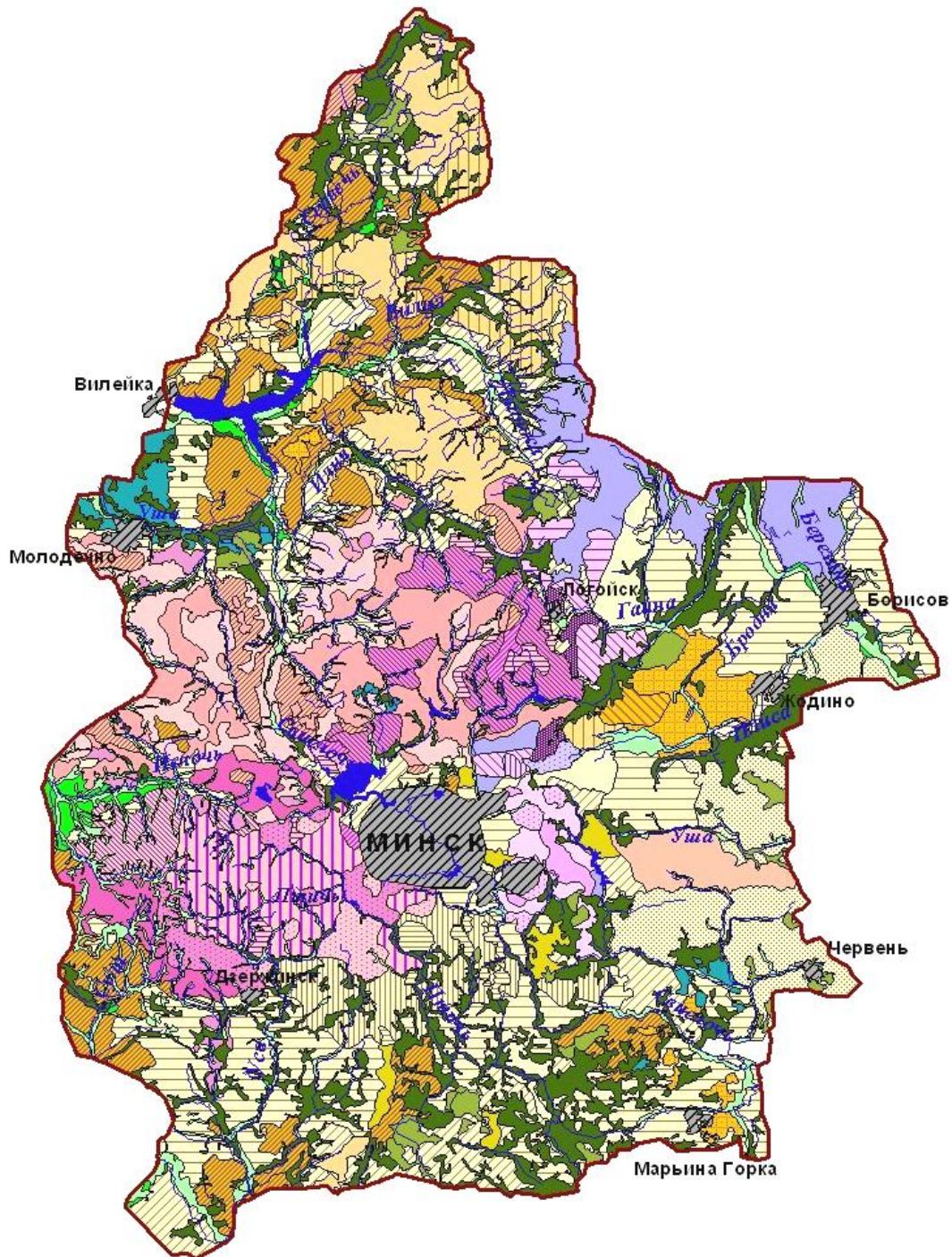
Всего в пределах пригородной территории при ее ландшафтном картографировании выделено 9 родов (четыре из них подразделены на подроды) и 43 вида ландшафтов (рисунок). Наибольшим разнообразием отличаются ландшафты холмисто-моренно-эрэзационные, в состав которых входят 13 видов и камово-моренно-эрэзационные – 9 видов.

В ландшафтной структуре территории самая большая доля приходится на вторичные водно-ледниковые ландшафты, которые занимают ее четвертую часть (табл. 1). Далее следуют холмисто-моренно-эрэзационные ландшафты – пятая часть, вторичноморенные – шестая и нерасчлененные комплексы с преобладанием болот – также шестая часть. Моренно-зандровые, пойменные и камово-моренно-эрэзационные ландшафты занимают по 4–7 % территории, а озерно-аллювиальные и аллювиально-террасированные – лишь по 1 %.

Согласно распределению различных ландшафтов по пригородной территории, ее можно разделить на три части: серединную, северную и юго-восточную. Первая из них занята главным образом ландшафтами холмисто-моренно-эрэзационных и камово-моренно-эрэзационных возвышенностей. Она простирается в направлении с юго-запада на северо-восток и занимает самые высокие гипсометрические уровни. Северная часть территории представлена преимущественно вторичноморенными равнинами, юго-восточная – вторичными водно-ледниковыми равнинами и низинами нерасчлененных комплексов с преобладанием болот.

Ландшафты пригородной территории заняты главным образом сельскохозяйственными угодьями и лесами. Доля первых из них составляет 48 %, вторых – 36 %. Первый из этих показателей несколько выше, а второй ниже средних для Беларуси величин, составляющих 43 и 41 %, соответственно. Данные соотношения свидетельствуют о более высоком хозяйственном освоении пригородной территории.

Различные ландшафты, в силу присущих им свойств (расчлененности рельефа, плодородия почв, глубины залегания грунтовых вод и др.) в разной степени пригодны для хозяйственного освоения и, соответственно, подвержены преобразованию. В качестве показателя оценки степени такого преобразования можно использовать лесистость ландшафтов, поскольку для большинства из них (за исключением речных пойм и нерасчлененных комплексов с преобладанием болот) леса являются естественной зональной растительностью.



Ландшафты пригородной территории Минска

1. Холмисто-моренно-эрэозионные возвышенности

А) С поверхностью залеганием моренных супесей, песков, песчано-гравийных пород с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми, сосново-еловыми, березовыми лесами на дерново-слабо- и среднеподзоленных почвах, с широколиственно-еловыми, осиновыми, сероольховыми лесами на дерново-палево-подзолистых средне- и слабооподзоленных почвах: 1.1. Грядово-холмистые;

1.2. Холмистые и холмисто-увалистые; 1.3. Мелкохолмисто-грядовые; 1.4. Крупнохомистые; 1.5. Среднехолмистые; 1.6. Мелкохолмистые; 1.7. Слабовхолмленные.

Б) С покровом лессовидных суглинков с широколиственно-еловыми, осиновыми, сероольховыми лесами на дерново-палево-подзолистых средне- и слабооподзоленных почвах, с еловыми, широколиственно-еловыми, березовыми лесами на дерново-палево-подзолистых средне- и слабооподзоленных почвах: 1.8. Грядово-холмистые; 1.9. Холмистые и холмисто-увалистые;

1.10. Крупнохомистые; 1.11. Среднехолмистые; 1.12. Мелкохолмистые; 1.13. Слабовхолмленные.

Окончание рисунка

2. Камово-моренно-эрзационные возвышенности

A) С поверхностным залеганием водно-ледниковых супесей и песков с сосновыми, березовыми лесами на дерново-средне- и слабоподзолистых почвах: 2.1. Грядово-холмистые; 2.2. Холмистые и холмисто-увалистые; 2.3. Среднехолмистые; 2.4. Мелкохолмистые; 2.5. Слабовхолмленные.

Б) С покровом лессовидных суглинков с сосновыми лесами на дерново-средне- и слабоподзолистых почвах, березовыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах: 2.6. Холмистые и холмисто-увалистые; 2.7. Среднехолмистые; 2.8. Мелкохолмистые; 2.9. Слабовхолмленные.

3. Вторичноморенные равнины

A) С поверхностным залеганием моренных песков и супесей с широколиственно-еловыми и сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах, осиновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах, широколиственно-сосново-еловыми лесами на дерново-средне- и слабоподзолистых почвах: 3.1. Холмистые и холмисто-увалистые; 3.2. Холмисто-волнистые; 3.3. Мелкохолмистые; 3.4. Пологоволнистые.

Б) С покровом лессовидных суглинков с еловыми и осиновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах: 3.5. Холмисто-волнистые.

4. Вторичные водно-ледниковые равнины

A) С поверхностным залеганием водно-ледниковых песков с сосновыми, сероольховыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах, с широколиственно-еловыми и широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолисто-глееватых почвах: 4.1. Среднехолмистые; 4.2. Мелкохолмистые; 4.3. Пологоволнистые; 4.4. Плосковолнистые.

Б) С покровом лессовидных суглинков с сосновыми, сероольховыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах, с широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолисто-глееватых почвах: 4.5. Среднехолмистые; 4.6. Пологоволнистые.

5. Моренно-зандровые волнистые равнины с широколиственно-еловыми, еловыми и сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых, реже дерново-подзолисто-слабоглееватых почвах.

6. Озерно-аллювиальные плосковолнистые низины с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых, дерново-подзолистых заболоченных почвах и низинными болотами на торфяных почвах.

7. Аллювиальные террасированные плоские низины первых надпойменных террас, с фрагментами водно-ледниковой равнины со злаковыми гидромезофитными лугами на дерново-глееватых и дерново-глеевых почвах, широколиственно-сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах.

8. Пойменные низины со злаковыми гидромезофитными лугами на дерново-глееватых почвах, низинными разнотравно-злаково- и гипново-осоковыми болотами на торфяно-болотных почвах, сосновыми лесами на дерново-слабоподзолистых почвах.

9. Нерасчлененные комплексы с преобладанием болот с низинными разнотравно-злаково- и гипново-осоковыми болотами, верховыми кустарничково-пушицево-сфагновыми и переходными кустарничково-травяно-осоково-сфагновыми болотами, пушистоберезовыми, сосновыми лесами на торфяно-болотных почвах: 9.1. С преобладанием верховых и переходных болот; 9.2. С преобладанием низинных болот

Рассчитанные показатели лесистости ландшафтов свидетельствуют о наличии между ними существенных различий в данном отношении (см. табл. 1). Так, самые низкие значения лесистости (33–35 %) наблюдаются у холмисто-моренно-эрзационных, вторично-моренных и морено-зандровых ландшафтов, что можно объяснить их более высокой пригодностью для сельскохозяйственного использования. Особенно заметно проявляется зависимость лесистости от покровных отложений. У одних и тех же ландшафтов при переходе этих отложений от моренных супесей и песков к лессовидным суглинкам,

на которых формируются более плодородные почвы, она снижается в 1,4–3,3 раза.

По мере ухудшения условий сельскохозяйственного освоения ландшафтов – усложнения рельефа, снижения плодородия почв, их переувлажнения – лесистость увеличивается до 39 % у вторичных водно-ледниковых, 43 % – у аллювиальных террасированных и 53 % – у озерно-аллювиальных ландшафтов. Низкая лесистость ландшафтов пойм и нерасчлененных комплексов с преобладанием болот объясняется скорее тем, что леса для них не являются единственным видом естественной растительности, а сочетаются с травянистой растительностью.

Таблица 1. Распространение, лесистость и подверженность эрозии ландшафтов пригородной территории Минска, %

Номер ландшафта	Ландшафт	Распространение, %	Лесистость, %	Доля эрозионных форм, %
1	Холмисто-моренно-эрэзионные	21,8	33	5,6
	<i>С покровом моренных супесей и песков</i>	14,3	39	4,2
1.1	Грядово-холмистые возвышенности	1,6	27	2,4
1.2	Холмистые и холмисто-увалистые возвышенности	4,5	43	4,5
1.3	Мелкохолмистые возвышенности	1,1	57	3,1
1.4	Крупнохолмистые возвышенности	1,1	25	1,7
1.5	Среднехолмистые возвышенности	1,5	38	1,5
1.6	Мелкохолмистые возвышенности	4,0	41	6,5
1.7	Слабовсхолмленные возвышенности	0,5	25	1,7
	<i>С покровом лессовидных суглинков</i>	7,5	27	7,1
1.8	Грядово-холмистые возвышенности	0,2	30	7,7
1.9	Холмистые и холмисто-увалистые возвышенности	2,2	40	7,1
1.10	Крупнохолмистые возвышенности	2,7	23	7,4
1.11	Среднехолмистые возвышенности	1,1	25	8,3
1.12	Мелкохолмистые возвышенности	0,5	25	5,8
1.13	Слабовсхолмленные возвышенности	0,8	11	5,0
2	Камово-моренно-эрэзионные	6,7	53	1,6
	<i>С покровом моренных супесей и песков</i>	5,6	57,5	0,7
2.1	Грядово-холмистые возвышенности	0,3	37	0,9
2.2	Холмистые и холмисто-увалистые возвышенности	0,6	78	0,6
2.3	Среднехолмистые возвышенности	0,4	53	1,8
2.4	Мелкохолмистые возвышенности	3,4	64	0,4
2.5	Слабовсхолмленные возвышенности	0,9	27	1,5
	<i>С покровом лессовидных суглинков</i>	1,1	33,8	5,8
2.6	Холмистые и холмисто-увалистые возвышенности	0,3	40	5,7
2.7	Среднехолмистые возвышенности	0,1	44	2,0
2.8	Мелкохолмистые возвышенности	0,6	33	6,3
2.9	Слабовсхолмленные возвышенности	0,1	20	5,6
3	Вторичноморенные	16,6	35	2,6
	<i>С поверхностью залеганием моренных песков и супесей</i>	16,3	35	2,6
3.1	Холмистые и холмисто-увалистые равнины	3,2	38	6,5
3.2	Холмисто-волнистые равнины	1,8	24	1,1
3.3	Мелкохолмистые равнины	3,9	38	2,1
3.4	Пологоволнистые равнины	7,4	34	1,6
	<i>С покровом лессовидных суглинков</i>	0,3	20	1,4
3.5	Холмисто-волнистые равнины	0,3	20	1,4
4	Вторичные водно-ледниковые	26,8	39	1,3
	<i>С поверхностью залеганием водно-ледниковых песков</i>	24,2	43	1,2
4.1	Среднехолмистые равнины	0,7	34	1,4
4.2	Мелкохолмистые равнины	1,3	46	1,0
4.3	Пологоволнистые равнины	15,5	40	1,2
4.4	Плосковолнистые равнины	6,7	49	1,1
	<i>С покровом лессовидных суглинков</i>	2,6	11	2,1
4.5	Среднехолмистые равнины	0,4	12	4,3
4.6	Пологоволнистые равнины	2,2	11	1,6
5	Моренно-зандровые волнистые равнины	4,2	32	0,6
6	Озерно-аллювиальные пологоволнистые низины	1,0	53	–
7	Аллювиально-террасированные низины	1,0	43	–
8	Поймы	6,4	33	–
9	Нерасчлененные комплексы с преобладанием болот	15,2	29	–
9.1	верховых и переходных болот	1,9	31,6	–
9.2	низинных болот	13,3	29	–

Сведение лесов способствует активизации такой проблемы, как эрозия почв. На рассматриваемой пригородной территории ее последствия особенно неблагоприятны. Помимо деградации сельскохозяйственных угодий и недобора урожая смыв почв здесь приводит к химическому загрязнению и заливанию водоемов, которые интенсивно используются для отдыха и оздоровления городских жителей.

Наибольшей эрозионной опасностью характеризуются ландшафты возвышенностей, затем она снижается к ландшафтам равнин и низин [12]. Для рассматриваемой территории оценена подверженность ландшафтов линейной эрозии. С этой целью в их пределах рассчитаны доли площадей, занятых эрозионными формами – оврагами, балками денудационными ложбинами. Данные по распространению отмеченных эрозионных форм взяты из геоморфологической карты М 1:200 000.

В распространении эрозионных форм по ландшафтам прослеживается зависимость от их высотного положения, сельскохозяйственного освоения и литологического состава покровных отложений (см. табл. 1). Самая высокая доля этих форм отмечается у ландшафтов холмисто-моренno-эрэзионных возвышенностей, где она выше среднего значения в 2 раза.

Больше всего подвержены линейной эрозии ландшафты с лессовидными суглинками. Доля эрозионных форм в их пределах в 2,5 раза превышает таковую в ландшафтах, сложенных супесями и песками. Связано это с двумя факторами, во-первых, с низкой устойчивостью лессовидных суглинков к развитию эрозионных процессов, во-вторых, с их более высоким сельскохозяйственным освоением. Данные ландшафты, очевидно, являются приоритетными для проведения противоэрэзионных мероприятий.

Ландшафтная организация водосборных бассейнов пригородных водохранилищ. Ландшафтные условия пригородной территории Минска обусловливают отсутствие в ее пределах крупных естественных водотоков и водоемов, пригодных для формирования на их базе зон массового отдыха городского населения. Расположенный здесь массив холмисто-моренno-эрэзионных и камово-моренno-эрэзионных возвышенностей является водораздельным для рек бассейнов Балтийского и Черного морей. Отсюда, в основном из мест выклинивания подземных вод, они берут начало и, протекая в пределах пригородной территории, не отличаются большой величиной.

По мере роста города и повышения его потребностей в местах отдыха и водных ресурсах на отмеченных малых реках в 50-e–80-e годы XX в. построено ряд водохранилищ, на базе которых созданы зоны рекреации. Крупнейшие из них приурочены к водохранилищам Заславское,

Криницы, Дрозды на р. Свислочь, Птичья и Вяча на одноименных реках, Дубровенское на р. Усяжа, Петровичское на р. Волма, Стайки на р. Тростянка. В 1975 г. на р. Вилии было построено Вилейское водохранилище, которое явилось водемом-донором для водохранилищ на р. Свислочь.

Одним из ключевых факторов формирования качества вод водохранилищ является состояние их водосборных бассейнов. В бассейнах пригородных водохранилищ Минска не имеется крупных локальных источников сбросов сточных вод. Поступление в них загрязняющих веществ связано, главным образом, с сельскохозяйственными угодьями. Исключение составляет бассейн водохранилища Стайки, 15 % которого приходится на территорию г. Минска.

Загрязняющее влияние сельскохозяйственных угодий на водоемы зависит от ландшафтных условий их размещения. Эти условия определяют саму степень сельскохозяйственного освоения территории, а также миграцию загрязняющих веществ в их пределах.

Для оценки ландшафтно-экологических условий водосборных бассейнов рассматриваемых пригородных водохранилищ по каждому из них выполнены те же расчеты, что и для всей пригородной территории – ландшафтной структуры, лесистости и подверженности эрозии (табл. 2). Из всех ландшафтов, составляющих водосборные бассейны, особенно высокую эрозионную опасность представляют холмисто-моренno-эрэзионные ландшафты, и в первую очередь сложенные лессовидными суглинками. Поэтому в табл. 2 приведена доля именно этих ландшафтов.

Из табл. 2 следует, что только Вилейское водохранилище и связанные с ним водоемы на р. Свислочь имеют сравнительно большую площадь водосборного бассейна. Бассейны остальных водохранилищ невелики, что, с одной стороны, обуславливает их высокую зависимость от экологического состояния водосборных территорий, с другой стороны, облегчает возможность проведения на них водоохранных мероприятий.

Существующие различия в ландшафтной структуре между водосборными бассейнами можно определить по распространению в их пределах холмисто-моренno-эрэзионных ландшафтов. У двух бассейнов (водохранилища Петровичское и Стайки) они вообще отсутствуют. В бассейне Вилейского водохранилища такие ландшафты занимают шестую часть территории. При этом они сосредоточены в основном в бассейне р. Илия, где охватывают половину его площади. В бассейнах водохранилищ, построенных на р. Свислочь, данные ландшафты занимают 3/4 территории, а водохранилищ Птичья, Вяча и Дубровенское – почти всю территорию.

С распространением холмисто-моренno-эрэзионных ландшафтов согласуется подвер-

женность водосборных бассейнов почвенной эрозии. Доля эрозионных форм в их пределах увеличивается по мере повышения площади, занимаемой этими ландшафтами. Максимальные ее значения (4,5 %) отмечаются в бассейнах водохранилищ Птич и Дубровенское, где данные ландшафты сложены преимущественно лесовыми суглинками.

Эрозионная опасность водосборных бассейнов характеризует предпосылки загрязнения

и заилиения водохранилищ. Вместе с тем при их оценке следует также принимать во внимание лесистость территории. Леса выступают основным стабилизирующим природным компонентом, который определяет ее водный режим и миграцию химических веществ. Поэтому для оценки ландшафтно-экологических условий водосборных бассейнов использовалось сочетания показателей их лесистости и эрозионной опасности.

Таблица 2. Ландшафтно-экологические условия водосборных бассейнов пригородных водохранилищ Минска

Водохранилище	Река	Площадь водо-сборного бассейна, км ²	Доля холмисто-моренно-эрэзионных ландшафтов, %		Лесистость, %	Доля эрозионных форм, %	Оценка условий
			всего	в т.ч. с покровом лессовидных суглинков			
Вилейское		4120	17	2	51	2,3	Удовлетворительные
	Вилия	935	—	—	37	2,2	Удовлетворительные
	Илия	1300	48	7	58	2,6	Удовлетворительные
	Двиноса	717	5	—	59	1,3	Благоприятные
	Сервечь	1168	4	—	35	2,4	Удовлетворительные
Заславское, Криница, Дрозды	Свислочь	649	74	29	28	3,0	Неблагоприятное
Петровичское	Волма	214	—	—	63	1,1	Благоприятные
Стайки	Тростянка	86	—	—	32	—	Удовлетворительные
Птич	Птич	143	94	92	17	4,5	Неблагоприятные
Вяча	Вяча	108	87	13	64	4,0	Удовлетворительные
Дубровенское	Усяжа	201	81	63	28	4,5	Неблагоприятные

Указанные условия оценены как благоприятные при лесистости свыше 50 % и доле эрозионных форм менее 2 %, неблагоприятные – если лесистость менее 30 % и доля эрозионных форм более 3 %. В остальных случаях они определены как удовлетворительные. В результате получено, что из 11 водосборных бассейнов благоприятные ландшафтно-экологические условия отмечены только в бассейне р. Двиноса, удовлетворительные – в бассейнах остальных рек, формирующих Вилейское водохранилище, а также водохранилищ Стайки и Вяча, неблагоприятные – водохранилищ на р. Свислочь, а также Птич и Дубровенское (см. табл. 2). Наиболее сложными они являются в бассейне водохранилища Птич, где преобладание холмисто-моренно-эрэзионных ландшафтов с лессовидными суглинками привело к очень высокому уровню сельскохозяйственного освоения территории и ее подверженности эрозии.

Заключение. Выполненное ландшафтное картографирование пригородной территории Минска в масштабе 1:200 000 позволило уточнить ее ландшафтную структуру, степень преобразования и эрозионную опасность различных типов ландшафтов. Основной особенностью ландшафтного строения территории является размещение в ее серединной части водораздельной возвышенности, которая обуславливает малую величину протекающих здесь рек.

Установлено, что более высокой степенью хозяйственного освоения характеризуются возвышенные и равнинные ландшафты с покровом лессовидных суглинков, которые, с одной стороны, обладают более высоким естественным плодородием почв, с другой стороны, более уязвимы к эрозии. Различия по лесистости этих ландшафтов по сравнению с их аналогами, сложенными

супесями и песками, составляют 1,8, а по доле эрозионных форм – 2,5 раза.

Оценены ландшафтно-экологические условия водосборных бассейнов пригородных водохранилищ, с использованием показателей их ландшафтной структуры, лесистости и подверженности эрозии и проведено ранжирование этих бассейнов по степени благоприятности. К наиболее проблемным по опасности загрязнения и

загрязнения водоемов отнесены бассейны водохранилищ Птичье и Дубровенское, занятых преимущественно холмисто-моренными-эрэозионными ландшафтами с покровом лессовидных суглинков. Для водоемов, расположенных на р. Свислочь, позитивное значение имеет удовлетворительное состояние водосборного бассейна Вилейского водохранилища как водоема-донора.

Литература

1. **Дьяконов, К. Н., Дончева, А. В.** Экологическое проектирование и экспертиза / К. Н. Дьяконов, А. В. Дончева. М., 2002.
2. **Исащенко, А. Г.** Оптимизация природной среды (географический аспект) / А. Г. Исащенко. М., 1980.
3. **Ландшафтная карта Белорусской ССР.** Масштаб 1:600 000. Главное управление Геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М., 1984.
4. **Ландшафтное планирование: инструменты и опыт применения** / А. В. Антипov [и др.]. Иркутск, 2005.
5. **Ландшафты Беларуси** / под ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клициуновой. Минск, 1989.
6. **Преображенский, В. С., Александрова, Т. Д., Куприянова, Т. П.** Основы ландшафтного анализа / В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова, Т. П. Куприянова. М., 1988.
7. **Струк, М. И.** Геоэкологические проблемы организации пригородного отдыха на территории Минского района / М. И. Струк // Природные ресурсы. 2005. № 3. С. 119–131.
8. **Струк, М. И.** Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. Минск, 2007.
9. **Струк, М. И.** Экологическая оптимизация территориальной структуры пригородного природопользования / М. И. Струк // Природопользование. 1996. Вып. 1. Минск, 1996. С. 131–134.
10. **Струк, М. И., Живнач, С. Г.** Географические подходы к выделению внешних экологических границ городов / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. 2011. Вып. 19. Минск, 2011. С. 96–102.
11. **Струк, М. И., Кавцевич, Т. К.** Критерии природной дифференциации пригородной территории по условиям природопользования / М. И. Струк, Т. К. Кавцевич // Природопользование. 2004. Вып. 10. Минск, 2004. С. 48–53.
12. **Струк, М. И., Хомич А. А., Бакарасов, В. А.** Оценка ландшафтной устойчивости территории административных районов Беларуси / М. И. Струк, А. А. Хомич, В. А. Бакарасов // Природопользование. 2001. Вып. 7. Минск, 2001. С. 57–60.
13. **Яцухно, В. М.** Геоэкологический анализ холмисто-моренных территорий и рациональное использование земель / В. М. Яцухно. Минск, 1990.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 18.04.2012

М. И. Струк, С. Г. Живнач

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ МИНСКА

Для экологической оценки ландшафтной организации пригородной территории Минска выполнено ее ландшафтное картографирование в масштабе 1:200 000. Рассчитаны количественные показатели ландшафтной структуры территории, степени преобразования и эрозионной опасности различных типов ландшафтов. Установлено, что более высокой степенью хозяйственного освоения характеризуются возвышенные и равнинные ландшафты с покровом лессовидных суглинков, которые, с одной стороны, обладают более высоким естественным плодородием почв, с другой стороны, более уязвимы к эрозии.

Оценены ландшафтно-экологические условия водосборных бассейнов пригородных водохранилищ с использованием показателей их ландшафтной структуры, лесистости и подверженности эрозии и проведено ранжирование этих бассейнов по степени благоприятности. К наиболее проблемным отнесены бассейны водохранилищ Птичье и Дубровенское, занятых преимущественно холмисто-моренными-эрэозионными ландшафтами с покровом лессовидных суглинков.

M. I. Struk, S. G. Zhivnach

ECOLOGICAL CONDITION OF LANDSCAPES OF MINSK SUBURBAN TERRITORY

For ecological estimation of the landscape organization of Minsk suburban territory, its landscape mapping as 1:200 000 scale is executed. Quantity indicators of landscape structure of the territory, transformation degree and erosive danger of various types of landscapes are calculated. It is established, that higher degree of economic development characterizes the raised and plain landscapes with a cover of forest-like loams which, on the one hand, are of higher natural fertility of soils, on the other hand, are more vulnerable to erosion.

The landscape-ecological conditions of water catchment basins of suburban water reservoirs with the use of indicators of their landscape structure, forests abundance and susceptibility of erosion are estimated and ranging of these basins by usefulness degree is carried out. The basins of Ptich and Dubrovenskoye water reservoirs refer to the most problematic ones, occupied by hilly-moraine-erosive landscapes with woody loams mainly.

Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе, П. А. Зданович

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА САПРОПЕЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТИПА В ОЗЕРАХ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ

Выполнен анализ природных особенностей и геохимического состава органического сапропеля в трех типичных озерах севера, центра и юга Беларуси. Показана взаимосвязь окружающей природной обстановки озер с биологическим и геохимическим составом озерных отложений. Выявлены и объяснены аномальные концентрации некоторых макро- и микроэлементов в отдельных залежах. Даны рекомендации по перспективам использования сапропеля.

Органический тип сапропеля имеет зольность менее 30 %, считается наиболее ценным продуктом озерного накопления и применяется во всех известных областях использования сапропелевых отложений [5, 7]. Сапропель данного типа, объем которого составляет пятую часть разведанных запасов озерных отложений Беларуси, размещен по территории республики крайне неравномерно. Наибольшие его запасы сосредоточены в озерах Витебской области, которая в основном располагается в пределах Поозерской провинции (табл. 1). В целом в структуре общих разведанных запасов сапропеля данной области преобладает кремнеземистый тип (свыше 72 %), что связано с повышенной эрозионной расчлененностью водосборов озер в пределах Поозерья, а органический сапропель занимает только 16 % общих запасов.

Таблица 1. Доля сапропеля органического типа в структуре разведанных по категории С₂ запасах сапропеля Беларуси

Природная провинция	Общие запасы сапропеля	Запасы органического сапропеля	
		млн м ³	% общих
Поозерская	1594,7	260,5	16
Центральная	315,6	64,9	21
Полесская	209,7	86,8	41
Всего	2120,0	412,2	19

В центре и на востоке Беларуси, а также на западе Полесья в структуре разведанных запасов преобладают органические озерные осадки, что связано с наличием здесь слабопроточных водоемов с пологими нерасчлененными водосборами и заболоченными приозерьями.

Из 148 первоочередных для добычи сапропеля озер [4] почти половина – объекты с запасами осадков органического типа, а в Центральной провинции – 60 % от всех перспективных для разработки озерных месторождений сапропеля (табл. 2). В Минской и Могилевской областях Центральной провинции имеется 12 крупных озер, рекомендуемых для освоения сапропеле-

вых ресурсов, в которых распространен или существенно преобладает органический тип озерных отложений.

Изучение естественно-исторического развития озер, основанное на комплексных исследованиях разрезов донных отложений, анализе изменения содержания органического вещества по глубине сапропелевых залежей показывает, что неоднородные климатические условия на протяжении последникового времени обусловливают варьирование состава и свойств формирующегося сапропеля [2]. Осадконакопление в озерах является направленным процессом: от формирования высокозольных отложений на первых стадиях развития молодых озер к среднезольным отложениям в зрелой стадии и малозольным – в стадии старения и умирания озер. Органическое вещество в сапропелевых осадках на протяжении того или иного исторического отрезка времени накапливается с разной интенсивностью в силу различного проявления экзо- и эндогенных факторов. Однако практически для каждого озера характерна общая тенденция – увеличение органической составляющей к современным слоям. Главной причиной этого процесса является изменение трофности водоемов, которые могут пройти все стадии развития: от олиготрофной, через мезотрофную и эвтрофную, до дистрофной.

Современные озера находятся на различных трофических стадиях своей эволюции, что связано с условиями их развития, морфометрией озерных котловин и водосборных бассейнов, характером проточности и в целом с динамическим равновесием озерной геосистемы. Сдвиги в равновесии геосистемы вызываются, главным образом, общеклиматическими изменениями. Они приводят к изменению местных процессов денудации и сноса минеральных веществ в водоемы, изменяют внутриводоемные процессы продуцирования органического вещества, что находит отражение в скорости накопления донных отложений и соотношении в них органической и минеральной составляющих.

Таблица 2. Количество перспективных для разработки озер с сапропелем органического типа

Природная провинция	Все перспективные для разработки озера	В том числе	
		озера с запасами органического сапропеля	озера с запасами органического сапропеля более 80 % объема залежи
Поозерская	78	28	5
Центральная	40	24	12
Полесская	30	14	5
Всего	148	66	22

В определенных климатических условиях проточные озера, являясь открытыми динамическими системами, акумулируют на дне значительное количество продуктов денудации, обогащенных минеральными веществами, поступающими с большой площади водосбора. По мере снижения проточности озер по климатическим причинам или в результате заилиения возникают специфические биогеохимические барьеры в виде заросших литоральных зон и заторфованных берегов озер, что резко снижает привнос кластогенного материала с прилегающего водосбора и создает условия для более интенсивного накопления органического вещества в донных отложениях.

Изучение послойного распределения зольности (обратной величины содержания органического вещества) в озерах разной степени проточности, расположенных в краевой зоне последнего оледенения, обработанные методами корреляционного и регрессионного анализов, позволили установить три основных диапазона ее изменения: менее 30 %, 30–65 % и 65–90 %. Даные диапазоны зольности осадков характеризуют основные трофические стадии развития формирующих их озер – дистрофную, слабоэвтрофную, эвтрофную, а также олиготрофную [6].

Сопоставление особенностей развития органической жизни в современных озерах с составом формирующихся осадков позволяет констатировать обусловленность группового состава органического вещества малозольного сапропеля характером, главным образом, образующих сапропель остатков водорослей, растений и животных [3]. В результате биологического анализа органического сапропеля определяется состав главных групп организмов, доминировавших на протяжении того или иного отрезка времени, и прогнозируется содержание основных компонентов органического вещества. Это дает возможность, не прибегая к длительным химическим исследованиям, характеризовать палеоэкологическую обстановку в водоемах-органонакопителях, разделять органический сапропель на однородные по вещественному составу классы, давать им генетическую характеристику и называть области использования.

Согласно разработанному стандарту [7], органический сапропель разделяется на классы: торфянистый, органический высокогумусный, органический среднегумусный и органический низкогумусный. В биологическом составе торфянистого сапропеля преобладают остатки растений-

торфообразователей (более 70 % от общего количества биологических остатков). Данный класс сапропеля формируется в дистрофных и дистрофирующих озерах. Общая численность биологических остатков ввиду повышенных размеров отдельных фрагментов мала и составляет менее 5 млн экз./см³ сапропеля естественной влажности. Накопление гуминовых кислот (ГК) в таких осадках в несколько раз превосходит содержание легкогидролизуемых веществ (ЛГ). Сапропель этого класса используется для производства стимуляторов роста растений, гуминовых препаратов, удобрений, а также в строительном производстве.

Органический высокогумусный сапропель состоит из остатков высших водных растений и растений-торфообразователей (50–70 %) с примесью остатков водных животных, реже водорослей. Суммарно две последние группы составляют менее 50 % от общей численности остатков. Общее обилие биологических остатков составляет около 8–10 млн экз./см³ нативного сапропеля. Гуминовых кислот содержится столько же, сколько легкогидролизуемых веществ или 1,5–3 раза больше. Формируется органический сапропель высокогумусного класса в зарастающих мелководных озерах эвтрофного типа, имеющих заболоченные берега. Используется такой сапропель для производства биологически активных веществ, удобрений и лечебных грязей.

В органическом среднегумусном сапропеле преобладают остатки водорослей из семейства диатомовых и синезеленых. Фрагменты тканей водных макрофитов составляют менее 10 % от общего количества остатков. Отличительной особенностью является высокая насыщенность препаратов остатками водорослей, доходящая до 15–20 млн экз./см³ сапропеля. Гуминовых кислот накапливается несколько меньше, чем легкогидролизуемых веществ, а их отношение варьирует от 0,5 до 1. Органический сапропель данного класса формируется в высокоэвтрофных глубоких озерах с незначительной проточностью и рекомендуется к использованию в качестве наполнителей, буровых растворов, лечебных грязей, удобрений.

При абсолютном преобладании в органическом сапропеле зеленых водорослей из группы протококковых отмечается увеличенное в два и более раза количество легкогидролизуемых веществ по сравнению с содержанием гуминовых кислот. Такой низкогумусный сапропель образу-

ется в мезотрофных (слабоэвтрофных) озерах с незначительной заболоченностью водосборов и низкой минерализацией воды. Основные области использования данного класса сапропеля – связующее при формировании, компоненты буровых растворов и промывочных жидкостей, лечебные грязи, удобрения.

Приведенные выше теоретические положения подтверждаются результатами детальных исследований стратиграфии залежей озер Стрелковское, Лочинское и Дикое, которые интересны, прежде всего, как типичные накопители органического вещества. Генезис и состав осадков этих озер значительно различаются в силу отличий, разных действующих природных факторов окружения. Отличия обусловлены также и тем, что исследованные озерные месторождения сапропеля расположены в разных природных провинциях республики.

В Поозерской провинции расположено месторождение сапропеля в оз. Стрелковское Верхнедвинского района (рис. 1). Площадь акватории озера составляет 93 га. Склоны котловины и берега низкие, слабо заболочены. Озеро слабопроточное, расположено в бассейне р. Ужица,

в которую впадает ручей без названия, вытекающий с западной части водоема. В южной части в озеро впадает небольшой ручей без названия длиной около 1,1 км. Площадь водосбора озера незначительная и составляет $10,9 \text{ км}^2$. Он представляет собой частично заболоченную низину, которая осложнена небольшими холмами высотой 2,5–3,5 м, занятymi хвойными, реже мелколиственными лесами низкого бонитета. Средний уклон приозерной части водосбора мал и составляет 0,24 см на 1 м заложения.

Средняя глубина воды в озере равна 1,1 м при наибольшей 1,5 м в центральной части водоема. Средняя мощность сапропелевой залежи составляет 3,9 м, максимальная в центре озера – 7,6 м. По данным поисково-оценочных работ сапропель в озере распространен на всей площади акватории. Заилено 77 % объема озерной котловины. Объем сапропеля при естественной влажности составляет 3421 тыс. м³ (531 тыс. т в пересчете на условную 60 %-ную влажность). В середине 80-х годов прошлого века месторождение разрабатывали грейферным способом. Из сапропеля производили удобрения органического типа.



Рис. 1. Картосхема приозерной части водосбора озера Стрелковское (а) с обозначением пунктов отбора проб и космический снимок южной части озера с инженерными сооружениями для добычи сапропеля на западном берегу (б)

В Центральной провинции республики расположено месторождение органического сапропеля в оз. Лочинское Осиповичского района, на котором в 70-х годах XX в. также производили добычу сапропелевого сырья гидромеханизированным способом. Площадь акватории оз. Лочинское в настоящее время составляет 56 га. Берега низкие, полностью заболочены и заторфованы, покрыты сосновой, ивой, крушиной. Склоны котловины невысокие, возвышаются над берегами на 1,0–1,8 м. Вдоль всего períметра озера отмечается торфяная сплавина шириной в западной и восточной частях до 100–120 м, с северной и южной –

до 40–60 м. Водосбор озера составляет $16,2 \text{ км}^2$ и представляет собой заболоченную и залесенную низину, занятую в основном хвойными лесами. Под болотами находится 20 % водосбора, который размещается преимущественно вдоль берега озера. В 150 м на север от озера имеется вышедший из эксплуатации участок добычи торфа с осушительной сетью каналов, которые прорезают площадь водосбора, а один из них впадает в озеро с востока. На севере из озера вытекает протока без названия. Вода из нее поступает в мелиоративную сеть (рис. 2).

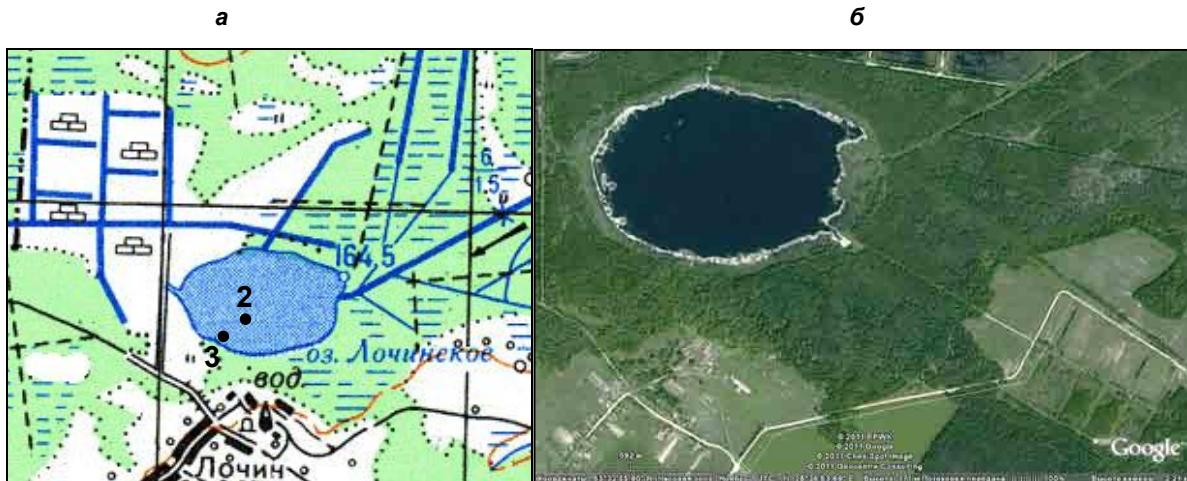


Рис. 2. Картосхема приозерных территорий (а) с обозначением пунктов отбора проб и космический снимок озера Лочинское (б). На юго-восток от озера видны построенные ранее чеки для обезвоживания сапропеля и дорога от них к причалу

Средняя глубина воды в озере составляет около 1,0 м при максимальной 2,0 м в центре. Средняя мощность сапропелевой залежи равна 6,07 м, максимальная зафиксирована в западной части – 14,5 м. Сапропель распространен на всей площади акватории и заходит под торфяную сплавину. Заливание озера по объему равняется 86 %. Песчаных мелководных прибрежных зон на озере не наблюдается. Объем сапропеля в озере при естественной влажности составляет 3400 тыс. м³ или 501 тыс. т в пересчете на условную влажность.

В Полесской провинции расположено исследованное оз. Дикое Петриковского района, из которого ранее также производилась добыча сапропеля для производства сапропелевых удобрений органо-кремнеземистого типа. Площадь озера составляет 78 га. Берега низкие, на юге и севере заболоченные, поросшие ивой и сосной. Слоны котловины невысокие, возвышаются над

берегами на 0,7–1,3 м. Восточный берег повышенный до 4–6 м, имеет ровные склоны, которые слабо залесены.

Водосбор оз. Дикое имеет площадь 260,8 км² и представляет собой заболоченную низину. В отдельных местах имеются небольшие бугры высотой 1,5–3,7 м, занятые хвойными, реже – мелколиственными лесами. Под болотами занято 47 % водосбора, вследствие чего он сильно мелиорирован. Бывшие ручьи и малые реки спрятаны и превращены в каналы (рис. 3). В настоящее время озеро является слабопроточным водоемом. Ранее с севера в него впадала р. Тремля и два ручья без названия. На юге сохранилось бывшее русло р. Тремля, по которому осуществлялся сток. В мелиоративных работах р. Тремля спрятана и проходит в 0,05 км на восток от озера. Водообмен озера с окружающей территорией происходит по впадающим и вытекающим мелиоративным каналам.

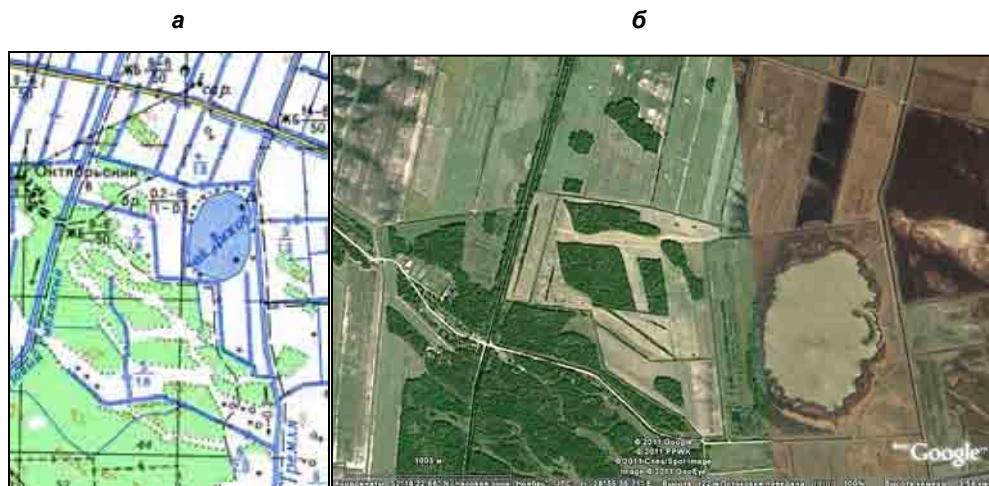


Рис. 3. Картосхема приозерной части водосбора оз. Дикое (а) и космический снимок современного состояния (б). Видны подходы к причалу в зарослях тростника в восточной части акватории озера и инженерные сооружения на берегу

Средняя глубина воды в озере составляет 0,53 м при максимальной 1,5 м. Средняя мощность сапропелевой залежи равна 4,6 м, а максимальная в центре составила 8,8 м. Сапропель распространен на площади 59,7 га, что составляет 76 % водной акватории и 87 % объема озерной котловины. Вдоль восточного и южного берегов выявлена песчаная мелководная зона шириной 75–110 м. По расчетам, объем сапропеля в озере оценивается в 2746 тыс. м³ или 999,1 тыс. т на условную влажность.

Таблица 4. Состав органического вещества малозольного сапропеля изученных озер, % на ОВ

Озеро	Глубина отбора, м	Битумы	Легко-гидролизуемые вещества	Гуминовые вещества		Трудно-гидролизуемые вещества	Негидролизуемые вещества	Класс органического (кремнеземистого) сапропеля
				общее содержание	в т.ч. ГК			
Стрелковское	2,0–3,0	6,0	34,0	32,3	11,0	9,8	18,1	Низкогумусный
Лочинское	2,0–5,0	5,9	9,5	70,7	60,4	4,0	10,2	Торфянистый
Дикое	0,5–2,0	2,7	21,9	54,2	46,0	3,6	17,6	Высокогумусный
Дикое	6,0–7,0	1,8	16,4	56,0	48,7	4,8	19,9	Силикатно-железистый (кремнеземистый)

Анализ биологических компонентов сапропеля оз. Лочинское свидетельствует о том, что в составе его органического вещества преобладают остатки высших водных растений и ткани торфообразователей. Количественно превалируют торфянистый (33 %) вид сапропеля. Наличие полностью заторфованных берегов и специфика биологического состава определили рекордные концентрации гуминовых веществ в сапропеле оз. Лочинское и весьма скромное участие легкогидролизуемых соединений в его строении.

В верхней части залежи оз. Дикое распространен торфянистый органический сапропель, который составляет 11 % от общего объема озерных осадков. Слои органического сапропеля залегают в приповерхностной части разрезов на глубине 0,5–1,5 м. Современный верхний полуметровый слой осадков имеет повышенную зольность ввиду антропогенного воздействия на озеро на протяжении последнего столетия. Запас органического сапропеля в озере ориентировочно составляет 300 тыс. м³ при общем запасе 2,7 млн м³. В органическом сапропеле количество гуминовых кислот более чем в 2 раза выше, чем легкогидролизуемых веществ (табл. 4), что позволяет отнести его к высокогумусному классу [7].

Под органическим распространен кремнеземистый сапропель. По промышленно-генетической классификации сапропель, зольностью более 30 % при соотношении SiO₂/CaO более 2 и содержании Fe₂O₃ более 10 %, относится к силикатно-железистому классу (K_{p4}), основной областью использования которого являются лечебные грязи. На исследованном месторождении

В результате изучения группового состава органического вещества сапропеля установлено, что в малозольных осадках оз. Стрелковское преобладают легкогидролизуемые вещества (34 % на ОВ), а гуминовых кислот мало – 11 % (табл. 4). В озере преобладает низкогумусный класс органического сапропеля. Это соответствует водорослевому биологическому составу при незначительном участии в формировании осадков высшей водной растительности.

запас такого сапропеля составляет 89 %. Несмотря на повышенное содержание железа, раньше данный сапропель после сушки, промораживания и проветривания использовался для приготовления сапропелевых удобрений, которые с успехом применяли для увеличения плодородия песчаных почв Петриковского и Мозырского районов.

В кремнеземистом сапропеле соотношение ГК к ЛГ еще более увеличено, что, вероятно, связано с большей проточностью озерного месторождения на ранних стадиях развития.

В сапропеле оз. Лочинское, Стрелковское и особенно Дикое зафиксированы повышенные для донных отложений озер Беларуси содержания P₂O₅, составляющие 0,42 до 1,0 % на сухое вещество в осадках первого водоема, 0,6–1,35 % при среднем содержании 0,8 % – второго и до 5,0 % – третьего. Как показывают исследования отложений сапропеля в озере Прибыловичи Лельчицкого района, высокие концентрации фосфора связаны с формированием в сапропелевой залежи вивианита (фосфорнокислая соль железа, Fe₃[PO₄]₂×8H₂O), привнесенного грунтовыми водами и поверхностными притоками с заболоченного водосбора. Наличие данного минерала в сапропеле важно при его использовании в качестве удобрения (при условии длительной сушки на воздухе с проветриванием и промораживанием). Актуальным направлением использования сапропеля оз. Дикое кроме сельскохозяйственного может стать применение в качестве лечебных грязей.

Зольность и содержание основных элементов в разрезах залежей сапропеля изученных озер представлены в табл. 5.

В сапропеле озер Лочинское и Стрелковское увеличено содержание общего азота – 1,0–4,3 % в первом и 2,9 до 4,0 % (среднее 3,7 %) – во втором. Общее содержание оксидов

железа и кальция в разрезах сапропеля обеих озер изменяется незначительно и находится на среднем уровне для водоемов Беларуси.

Таблица 5. Зольность и содержание некоторых химических элементов в разрезах малозольного сапропеля озер Стрелковское, Лочинское и Дикое, % сухого вещества

№ пункта отбора*	Глубина, м	Зольность (875°C)	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	N общ.
Оз. Стрелковское Верхнедвинского района							
2	0,0–0,5	14,6	1,49	1,10	0,08	0,91	3,93
2	1,0–1,5	13,8	1,12	1,10	0,06	0,68	3,84
2	2,0–2,5	18,4	1,86	1,38	0,08	0,61	3,76
2	3,0–3,5	17,8	1,86	1,86	0,13	0,59	3,89
2	4,0–4,5	46,3	1,49	2,72	0,61	0,68	2,91
2	5,0–5,5	48,7	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
2	5,5–6,0	55,7	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Среднее		30,7	1,6	1,6	0,2	0,7	3,7
4	0,5–1,0	15,2	1,86	1,16	0,08	0,81	3,82
4	1,5–2,0	17,3	1,12	1,60	0,06	0,60	3,89
4	2,5–3,0	16,5	1,34	1,76	0,08	0,94	4,01
4	3,5–4,0	41,3	1,49	2,35	0,54	1,35	3,33
4	4,5–5,0	51,7	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
4	5,0–5,5	51,1	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Среднее		32,2	1,5	1,7	0,2	0,9	3,8
Оз. Лочинское Осиповичского района							
2	0,5–1,0	28,6	2,60	3,60	0,05	1,00	3,26
2	1,5–2,0	23,7	2,98	3,31	0,09	0,71	3,58
2	2,5–3,0	14,9	2,98	3,12	0,04	0,42	3,63
2	3,5–4,0	15,9	2,83	2,63	0,06	0,42	3,70
2	4,5–5,0	75,6	2,98	4,48	0,19	0,98	1,01
Среднее		31,7	2,9	3,4	0,09	0,7	3,0
3	0,5–1,0	20,0	1,86	2,46	0,08	0,65	4,06
3	1,5–2,0	13,6	2,08	2,17	0,06	0,61	4,29
3	2,5–3,0	12,7	2,60	2,48	0,05	0,55	4,15
3	3,5–4,0	13,1	2,60	2,17	0,06	0,55	4,13
3	4,5–5,0	12,0	2,24	2,00	0,06	0,60	4,32
3	5,5–6,0	13,0	2,24	2,28	0,05	0,55	4,19
3	6,5–7,0	14,5	3,35	3,20	0,04	0,69	3,66
Среднее		14,1	2,4	2,4	0,06	0,70	4,5
Оз. Дикое Петриковского района							
1	0,0–0,5	57,3	2,24	32,6	0,07	2,75	1,85
1	0,5–1,0	27,4	2,98	9,08	0,12	1,22	3,36
1	1,5–2,0	33,4	2,60	11,6	0,12	1,51	3,09
1	2,5–3,0	28,7	2,20	9,23	0,11	1,50	3,36
1	3,5–4,0	66,9	2,34	37,2	0,04	3,20	1,57
1	4,5–5,0	62,0	2,98	33,4	0,06	5,0	2,38
1	5,5–6,0	72,1	2,24	43,8	0,07	4,81	1,62
1	6,0–6,5	55,9	1,86	29,8	0,14	3,88	1,91
Среднее		50,4	2,4	25,8	0,09	3,0	2,4

* Расположение пунктов отбора проб показано на рис. 1–3.

Общее содержание железа в разрезе сапропеля оз. Дикое изменяется от 9,1 до 43,8 % при средней концентрации 25,9 % на сухое вещество. Наибольшее количество железа отмечается в придонных слоях. Имеется прямая связь повышенного содержания железа в сапропеле с его зольностью.

Установлено ингибирующее воздействие нативного сапропеля оз. Дикое на проростки

зерновых культур. Интенсивная сушка и промораживание сапропеля с повышенным до 15–20 % содержанием железа полностью устранили ингибирующий эффект и способствовали увеличению биомассы проростков по сравнению с контролем. Имеющийся положительный опыт использования сапропеля с высоким содержанием железа из месторождений Дикое, Вечер, Прибыловичи и других подтверждает полученные выводы.

В придонных слоях сапропеля оз. Дикое в пункте отбора № 1 зафиксированы рекордные для озерных отложений Беларуси содержания P_2O_5 , составляющие на глубине 4,5–6,0 м 4,8–5,0 %. Среднее содержание фосфора в сапропеле составляет 3,0 %. Оно коррелирует с содержанием железа, что свидетельствует о формировании в залежи донных отложений минерала вивианита, который при соответствующей подготовке сапропелевого сырья (длительный период сушки в естественных условиях, пропаривание и промораживание) может служить ценным видом местных органоминеральных удобрений.

Таблица 6. Сравнение региональных кларков некоторых микроэлементов с содержанием микроэлементов (МКЭ) в залежах органического типа исследованных озер

Микро-элемент	Педохимическая провинция					
	Северная		Центральная (восточная подпровинция)		Южная	
	Региональный кларк	Сапропель оз. Стрелковское	Региональный кларк	Сапропель оз. Лочинское	Региональный кларк	Сапропель оз. Дикое
Mn	493	395,1	100	315,9	294	776,7
Cu	18	18,1	10	11,4	9	75,1
Cr	29	7,6	13	3,6	14	49,7
Ni	17	19,0	7	15,6	6	240,7
Co	7	4,5	5	4,2	6	6,1
Сумма изученных МКЭ	564	444,3	135	350,7	329	1148,3

Исследования показали, что повышенных концентраций пестицидов в образцах сапропеля, отобранных с поверхности залежей не обнаружено. Радионуклиды в них содержатся в количествах на уровне чувствительности аналитического прибора. Важно, что для возобновления добычи ценного в агрохимическом отношении сапропелевого сырья на изученных озерах создана и частично сохранена необходимая для организации технических мероприятий инфраструктура (подъездные дороги, площадки для сушки, причалы, чеки-отстойники и др.).

Учитывая близость транспортных коммуникаций в районе месторождения сапропеля оз. Стрелковское, а также повышенное накопление в нем органического вещества, азота, фосфора и некоторых микроэлементов, данное месторождение следует рассматривать в качестве первоочередного для организации добычи сапропелевого сырья по гидромеханизированной технологии для приготовления сапропелевых удобрений и торфо-сапропелевых смесей для мелиорации малоплодородных земель. Преобладающий в озере Стрелковское водорослевый сапропель имеет преимущественно алифатическую структуру органического вещества, что будет способствовать повышенной скорости минерализации, переводу в подвижное состояние и быстрому вовлечению в почвенные процессы содержащихся в нем макро- и микроэлементов.

Из-за высокого содержания гуминовых кислот в сапропеле оз. Лочинское и особенно оз. Дикое зафиксированы повышенные концентрации микроэлементов и некоторых тяжелых металлов, которые превосходят региональные кларки в разы (табл. 6). По причине наличия высоких концентраций микроэлементов в сапропеле оз. Дикое, что является редкостью для глоценовых сапропелевых залежей Полесья, а также гуминовых кислот, азота и особенно фосфора он является ценным сырьем для производства биологически активных жидким препаратов для сельского хозяйства и ветеринарии, а также гуматов в виде порошка.

Сапропелевое месторождение в оз. Лочинское относится к менее перспективным для организации добычи сапропеля из-за большей удаленности объекта от современных дорожных коммуникаций. Органическое вещество сапропеля оз. Лочинское имеет торфяной генезис со значительным участием фрагментов ароматической структуры в составе молекул. По этой причине оно обладает большей устойчивостью в почве, что будет способствовать пролонгированному сроку биологической активности. Высокая концентрация в сапропеле оз. Лочинское гуминовых веществ позволяет констатировать, что перспективным направлением его использования является термохимическая переработка с получением биологически активных препаратов гуминовой природы для земледелия, ветеринарии и животноводства.

Сапропель оз. Дикое требует дальнейшего изучения с целью поиска способов перевода в подвижную форму ценных для сельского хозяйства микроэлементов, что будет способствовать вовлечению его в сферу производства востребованных в сельском хозяйстве жидким биологически активных препаратов. Для исключения отрицательного воздействия закисных соединений железа на почвенную биоту при использовании в качестве удобрения обогащенного фосфором сапропеля озера Дикое необходима разработка приемов его переработки, направленных на ин-

тенсивное окисление для перевода в окисную неподвижную форму Fe^{3+} .

Таким образом, выполненные исследования особенностей формирования сапропеля органического типа в озерах различных регионов Беларуси показывают существенное разнообразие вещественного состава, которое зависит в первую очередь от природных особенностей окружающих ландшафтов, трофности лимнической системы, продуцирующей органическое вещество определенного генезиса.

Для изученных озер-органонакопителей характерно формирование следующих классов малозольных осадков: торфянистый (оз. Лочинское), высокогумусный (оз. Дикое), среднегумусный и низкогумусный (оз. Стрелковское).

В составе органического вещества сапропеля оз. Лочинское преобладают остатки высших водных растений и ткани торфообразователей. Специфический биологический состав и полностью заторфованные берега определили очень высокие концентрации гуминовых веществ (около 70 % на ОВ) в сапропеле и весьма скромное участие легкогидролизуемых соединений. Высокогумусный класс органического сапропеля в залиже оз. Дикое распространен на глубине 0,5–1,5 м, где количество гуминовых кислот более чем в 2 раза выше, чем легкогидролизуемых веществ. С другой стороны, под воздействием комплекса природных факторов в оз. Стрелковское в малозольных осадках преобладают легко-гидролизуемые вещества (34 % на ОВ), а гуминовых кислот накапливается мало – 11 %, что

способствует формированию низкогумусного класса органического сапропеля, состоящего исключительно из остатков водорослей.

Кроме того, отличительными особенностями органического сапропеля исследованных водоемов являются: 1) увеличенное (4,0 % на СВ, среднее – 3,7 %) содержание общего азота в сапропеле оз. Стрелковское; 2) повышенное, на уровне аномалий (озера Стрелковское, Лочинское) и рекордное для территории Беларуси (оз. Дикое), накопление в осадках соединений фосфора, что делает их ценным сырьем для производства удобрений; 3) высокие из-за накопления гуминовых кислот концентрации микроэлементов и некоторых тяжелых металлов в сапропеле оз. Лочинское и особенно оз. Дикое, которые превосходят региональные кларки в разы; 4) высокое и очень высокое в придонных слоях сапропеля содержание оксидов железа (оз. Дикое), что требует особых приемов переработки добытого сырья для использования в качестве удобрения.

В соответствии с вещественным составом изученные виды органического сапропеля репрезентативных озер могут применяться: 1) в производстве органических удобрений для быстрого восстановления плодородия деградированных почв (оз. Стрелковское); 2) для получения биологически активных препаратов гуминовой природы для земледелия, ветеринарии и животноводства (оз. Лочинское); 3) в качестве источников макро- и микроэлементов в грунтах и жидких ростстимулирующих препаратах (оз. Дикое).

Л и т е р а т у р а

- Гордобудская, О. М. Характеристика фонового накопления некоторых микроэлементов в сапропелях озер Белоруссии / О. М. Гордобудская, Б. В. Курзо, Т. К. Будай // Геохимия. 2000. № 9. С. 1018–1024.
- Жуховицкая, А. Л. Озерный седиментогенез в голоцене Беларуси: геохимические и биологические аспекты / А. Л. Жуховицкая [и др.]. Минск, 1998.
- Курзо, Б. В. Экология водных организмов как фактор формирования свойств малозольных сапропелей // Каустобиолиты и экология : сб. науч. ст. / Ин-т торфа АН БССР : деп. в ЦБНТИ Минтоппрома РСФСР 05.01.89, № 26-тп // Торфяная промышленность: экспресс-информ. 1989. Вып. 2. С. 31–33. Минск, 1988. С. 120–126.
- Курзо, Б. В. Сапропели / Б. В. Курзо // Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию БелНИГРИ ; редкол. П. З. Хомич [и др.]. Минск, 2002. С. 305–316.
- Курзо, Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля / Б. В. Курзо. Минск, 2005.
- Попов, М. В. Изменение зольности в зависимости от глубины сапропелевых отложений озер разной трофности // Эксплуатация и повышение эффективности действия мелиоративных систем Калининской обл. / М. В. Попов, Б. В. Курзо, Л. С. Исаева. М., 1984. С. 79–88.
- СТБ 17.04.02–01–2010. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Сапропель. Промышленно-генетическая классификация. Минск, 2010.

Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе, П. А. Зданович

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО
СОСТАВА САПРОПЕЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТИПА В
ОЗЕРАХ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ**

Обобщены результаты исследований геохимического состава органического сапропеля перспективных для освоения озерных месторождений сапропеля в Поозерской, Центральной и Полесской провинциях. Приведены данные о современном состоянии озер и запасах сапропелевого сырья в озерных месторождениях Стрелковское, Лочинское и Дикое. Установлено, что органический сапропель размещается на поверхности сапропелевых залежей и в силу различия скорости накопления, обусловленной местными условиями, имеет различную мощность.

Показано, что органический сапропель изученных озер характеризуется большим разнообразием состава. В оз. Лочинское формируются торфянистый, в оз. Дикое – высокогумусный, в оз. Стрелковское – среднегумусный и низкогумусный классы органического сапропеля.

В силу различия природных условий отличительными особенностями органического сапропеля исследованных водоемов являются:

увеличенное (4,0 % на сухое вещество) содержание общего азота в сапропеле озера Стрелковское;

повышенное, на уровне аномалий (Стрелковское, Лочинское) и рекордное для территории Беларуси (Дикое), накопление в осадках соединений фосфора, что делает их ценным сырьем для производства удобрений;

высокие из-за накопления гуминовых кислот концентрации микроэлементов и некоторых тяжелых металлов в сапропеле оз. Лочинское и особенно оз. Дикое, которые превосходят региональные кларки в разы;

высокое и очень высокое содержание оксидов железа в придонных слоях сапропеля оз. Дикое, что требует особых приемов переработки добытого сырья для использования в качестве удобрения.

Органический сапропель изученных озер может применяться для производства сапропелевых удобрений и быстрого восстановления плодородия деградированных почв (оз. Стрелковское); биологически активных препаратов гуминовой природы для земледелия, ветеринарии и животноводства (оз. Лочинское); в качестве источников макро- и микроэлементов в грунтах и жидких ростстимулирующих препаратах (оз. Дикое).

B. V. Kurzo, O. M. Gaidukevich, I. V. Klyauzze, P. A. Zdanovich

**FEATURES OF THE MATERIAL STRUCTURE FORMATION OF ORGANIC
TYPE SAPROPEL IN LAKES OF VARIOUS REGIONS OF BELARUS**

Results of researches of geochemical structure of organic sapropel of perspective deposits for development in lakes of Poozersky, Central and Polessye provinces have been generalized. Data on modern condition of lakes and information about stocks of sapropel raw materials on lake deposits Strelkovskoye, Lochinskoye and Dikoye have been given. It has been established that organic sapropel positions from the surface of sapropel deposits and owing to distinction of accumulation rate caused by local conditions, has various power.

It has been shown that organic sapropels of the studied lakes are characterized by great variety of structure. In lake Lochinskoye a peaty, lake Dikoye – high humic, in lake Strelkovskoye – mid-humic and low-humic classes of organic sapropel are being formed.

Owing to distinction of natural conditions distinctive features of organic sapropel of the investigated water reservoirs are:

The increased 4,0 % per dry matter content of total nitrogen in lake sapropel Strelkovskoye;

The enhanced, at level of anomalies (Strelkovskoye, Lochinskoye) and record for territory of Belarus (Dikoye) accumulation of compounds of phosphorus in deposits that makes them a valuable raw material to produce fertilizers;

High, due to accumulation of humic acids, concentrations of micro-cells and some heavy metals in sapropel of Lochinskoye lake and, especially, of Dikoye which surpass regional clarks in times;

High and very high content of iron oxides in benthonic layers of sapropel in lake Dikoye, that needs special techniques of processing of the extracted raw materials for use as fertilizers.

Organic sapropel of the studied lakes can be applied to manufacture sapropel fertilizers and fast restoration of fertility of the degraded soils (the lake Strelkovskoye); biologically active preparations of humic origin for agriculture, veterinary science and animal industries (the lake Lochinskoye); as sources of macro- and micro-cells in grounds and liquid growth-stimulating preparations (the lake Dikoye).

УДК 631.4

А. А. Яновский

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДИСТАНЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Рассмотрены особенности спектрального коэффициента отражения в видимом диапазоне деградированных торфяных почв Беларуси, обоснован выбор спектрального диапазона, фиксированного граничного значения и диапазона граничных значений содержания в торфяной почве органического вещества, в наибольшей степени соответствующих возможностям картографирования деградированных торфяных почв дистанционными методами.

Широкомасштабная мелиорация торфяных почв Беларуси привела к серьезным экологическим проблемам, при этом особенно остро они проявляются на Полесье, где в настоящее время происходит появление больших площадей деградированных торфяных почв. Для замедления и последующего прекращения данного процесса необходимо принятие оперативных мер, включающих как восстановление болот на выработанных торфяных месторождениях и торфяных почвах, исключенных из сельскохозяйственного оборота (а также повторное заболачивание используемых в сельском хозяйстве деградированных торфяных почв), так и создание возможности более жесткого контроля над соблюдением утвержденных норм по использованию в сельском хозяйстве осушенных торфяных почв. Необходимо отметить, что (кроме других причин) отсутствие точной информации о пространственном распределении деградированных торфяных почв затрудняет принятие необходимых оперативных мер, поэтому в настоящее время является актуальным проведение картографирования деградированных торфяных почв. Основным методом составления почвенных карт в Беларуси настоящее время является наземное полевое обследование. Однако использование данного метода при картографировании деградированных торфяных почв будет слишком трудоемким и продолжительным, а следовательно, слишком дорогостоящим даже при выделении только относительно крупных пятен деградации и практически невозможным при точном картографировании деградированных торфяных почв вследствие их больших площадей, а также весьма высокой пространственной неоднородности формирующегося почвенного покрова, что вызывает интерес к проведению картографирования на основе данных дистанционного зондирования (ДЗ).

Определение понятия «деградированные торфяные почвы»

Прежде всего, необходимо определить само понятие «деградированные торфяные почвы». В Беларуси к деградированным тор-

фяным почвам относят осушенные торфяные почвы, пахотный слой которых содержит менее 50 % органического вещества (ОВ) в расчете на сухое вещество и подстилается минеральной материнской породой [6, 10], в Великобритании – менее 35 % ОВ [11–13], в Германии – менее 30 % [14, 20], в Северной Ирландии – менее 20 % ОВ [16]. Некоторые исследователи [19] определяют торф как органическую почву, содержащую менее 25 % минерального вещества, соответственно, в данном случае к деградированным торфяным почвам следует отнести почвы, содержащие 75 % и менее ОВ.

При составлении Карты распределения торфяных почв в Европе L. Montanarella с соавторами (2006) к торфяникам отнесли почвы с содержанием углерода органического вещества (C_{opr}) (в расчете на сухое вещество) 30 % и более (50 % и более ОВ) в верхнем слое толщиной 30 см. Кроме того, они выделили «покрытые торфом» почвы с содержанием $20 \leq C_{opr} < 30\%$ ($35 \leq OVB < 50\%$) в верхнем слое почвы толщиной 30 см. При составлении карт торфяных почв (торфяников и «покрытых торфом» почв) для каждой отдельной страны L. Montanarella с соавторами (2006) сравнили использование двух различных пороговых значений содержания C_{opr} , а именно 20 % (35 % ОВ) и 25 % (43 % ОВ), путем сопоставления с имеющимися для отдельных стран национальными учетами торфяных почв и сделали вывод, что использование порогового значения 25 % C_{opr} позволяет получить более точные оценки площади торфяных почв [15].

Можно отметить, что выделенные L. Montanarella с соавторами (2006) «покрытые торфом» почвы ($35 \leq OVB < 50\%$) имеют аналог в системе классификации сельскохозяйственных земель Великобритании в виде песчаного торфа (35–50 % ОВ, массовая доля песка в составе мелкой минеральной фракции (< 2 мм) равна 50 % и более) и глинистого торфа (35–50 % ОВ, массовая доля песка в составе мелкой минеральной фракции (< 2 мм) равна < 50 %) [11, 12].

В отношении тропических торфяников необходимо упомянуть, что международная

группа специалистов определила торф как органическую почву толщиной не менее 50 см, площадью не менее 1 га и содержащую не менее 65 % ОВ [17]. Соответственно, к деградированным торфяным почвам следует отнести бывшие торфяные почвы, содержащие менее 65 % ОВ.

По Международной стандартизированной системе почвенных ресурсов (World Reference Base for Soil Resources, МССПР), торфяной слой болот Беларуси следует отнести к «тканевому» (histic) горизонту почвы [18]. В отечественной литературе «тканевый» горизонт обычно называют «органогенным». Органогенный горизонт почвы диагностируется в МССПР по следующим двум признакам: во-первых, данный горизонт находится в насыщенном водой состоянии без перерыва в течение 30 и более дней в году большинство лет (если он не был осушен), во-вторых, он имеет толщину 10 см и более. При этом, если слой, содержащий органический материал, имеет толщину менее 20 см, то верхние 20 см данной почвы после их перемешивания, или если в пределах 20 см глубины располагается сплошная горная порода, то вся лежащая на ней почва после перемешивания, должны содержать 20 % или более $C_{\text{опр}}$.

Границное значение содержания $C_{\text{опр}}$ в органогенном горизонте почвы определяется в МССПР исходя из определения ОВ. Для органогенного горизонта оно заключается в выполнении одного из следующих признаков (или сразу двух): содержание (в процентах) $C_{\text{опр}}$ во фракции почвы данного горизонта, проходящей через сито с ячейками 2 мм без дробления исходных частиц, равно 12 + (процентное содержание глинистых частиц в минеральной фракции $\times 0,1$) или 18 % и более.

Таким образом, согласно МССПР, если в органогенном почвенном горизонте не содержатся глинистые частицы, нижняя граница содержания в нем $C_{\text{опр}}$ может располагаться в любом месте от 12 % (20 % ОВ) до 18 % (30 % ОВ).

Из приведенных выше примеров ясно следует, что разделение торфяных и деградированных торфяных почв в разных странах и разными исследователями в одной стране проводится на основе различных граничных значений содержания в торфяной почве ОВ, и необходимо определить, какое граничное значение содержания ОВ в наибольшей степени соответствует возможностям картографирования деградированных торфяных почв Беларуси с помощью ДЗ в видимом диапазоне.

Причины и внешнее проявление развития процессов деградации осушенных торфяных почв Беларуси

При мелиорации болота уровень грунтовых вод понижается до -1,5 м от поверхности, что приводит к замещению части воды воздухом. Это

резко активизирует аэробные процессы и приводит к быстрой минерализации торфа микроорганизмами. Минерализация ОВ пахотного слоя почвы компенсируется поступлением нового ОВ с поспеуборочными растительными остатками, а также путем припахивания торфа из подпахотных горизонтов, при этом глубина пахотного слоя остается постоянной, а глубина подпахотных слоев торфа систематически уменьшается. Когда пахотный горизонт доходит до подстилающей торф минеральной породы, начинается ее припахивание и постепенное увеличение ее доли в составе пахотного слоя торфа, поскольку разрушение торфа уже не компенсируется за счет припахивания торфа из подпахотных горизонтов. После превышения некоторого оговоренного значения содержания минеральных веществ (зависящего от принятого в данной конкретной стране нижнего граничного значения содержания в торфе ОВ), торфяные почвы переходят в группу деградированных торфяных почв. Поскольку поверхность подстилающей торф минеральной породы в общем случае неоднородна по рельефу, на разных участках поля пахотный горизонт доходит до минеральной породы за разное количество времени. Вначале припахивание минеральной породы происходит на отдельных участках поля, в результате чего в пределах одного поля формируются сложные почвенные комплексы с участками торфяных и деградированных торфяных почв, что обусловливает формирование весьма неоднородной структуры почвенного покрова полей с неудовлетворительным микрорельефом, большими различиями в водном, тепловом и пищевом режимах. Дальнейшее развитие процесса деградации заключается в постепенном расширении и последующем объединении появившихся участков деградированных торфяных почв, а также возникновении множества новых участков припахивания минеральной породы.

Особенности спектрального коэффициента отражения в видимом диапазоне деградированных торфяных почв Беларуси

Спектральный коэффициент отражения поверхности почвы зависит от множества факторов, что, впрочем, характерно для любого природного объекта. Основными факторами, определяющими характер спектральной кривой коэффициента отражения почвы в видимом диапазоне, являются содержание в почве ОВ, глины, железосодержащих минералов, карбонатов, воды и, в определенной степени, кварца, при этом состав почвы определяет ее полевую влагоемкость. Основной компонент песка – кварц – в чистом виде бесцветен или имеет белую окраску из-за внутренних трещин и кристаллических дефектов. Самую разнообразную окраску ему придают элементы-примеси и

микроскопические включения других минералов, преимущественно оксидов железа.

Согласно данным [5], около 90 % площади осушенных торфяных почв Полесья подстилается мощными рыхлыми оглеенными песками. Для остальных осушенных торфяных почв Беларуси имеются только более грубые оценки, однако и в этом случае большинство осушенных торфяных почв подстилается рыхлыми песками. Для данных, находящихся на разных стадиях деградации, торфяных почв характер спектральной кривой коэффициента отражения почвы в видимом диапазоне определяется содержанием в почве ОВ и ее влажностью. Значения спектрального коэффициента отражения в видимом диапазоне уменьшаются как при увеличении содержания ОВ, так и при увеличении влажности почвы и, напротив, увеличиваются при повышении содержания песка, при этом полевая влагоемкость у ОВ значительно выше, чем у песка. Данные свойства воды и торфяной почвы позволяют автоматизировать разделение торфяной и деградированной торфяной почвы при картографировании относительно небольшой территории (в пределах которой торфянная почва с одинаковым содержанием ОВ имеет одинаковую влажность), поскольку содержащаяся в почве вода только способствует увеличению различия значений спектрального коэффициента отражения (в видимом диапазоне) деградированных торфяных почв с различным соотношением массовых долей песка и ОВ, т. е. торфяных почв, находящихся на разных стадиях деградации. При широкомасштабном картографировании появляется необходимость разделения территории на участки, в пределах которых торфянная почва с одинаковым содержанием ОВ содержит одинаковое количество воды.

Оставшиеся 10 % площади осушенных торфяных почв Полесья подстилаются супесями и суглинками. За счет того, что глинистые минералы образуют с гумифицированными частицами торфа глино-гумусовые комплексы, первые оказываются гораздо дольше, чем частицы песка, замаскированными в деградированной торфяной почве по мере уменьшения содержания в ней ОВ, и на данной стадии деградации торфяной почвы ее спектральный коэффициент отражения зависит только от содержания в ней песка. С другой стороны, это приводит к тому, что ее спектральный коэффициент отражения в видимом диапазоне длин волн ниже, чем у подстилаемых песками деградированных торфяных почв при одинаковой массовой доле ОВ.

Необходимо отметить, что 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 [7]. Кроме того, формирование глино-гумусовых комплексов замедляет минерализацию входящих в их состав гумифицированных частиц торфа, в результате чего деградация осушенных торфяных почв, подстилаемых супесями и суглинками, происходит с меньшей скоростью, чем осушенных торфяных почв, подстилаемых песками. А на последней стадии деградации подстилаемых супесями и суглинками торфяных почв (минеральные постторфяные супесчаные и суглинистые почвы [1]) частицы глины адсорбируют гумифицированные частицы отмерших послеуборочных остатков сельскохозяйственных растений, при этом минерализация последних компенсируется их поступлением из новых растительных остатков. В результате содержание ОВ в таких почвах может поддерживаться на уровне $\leq 3\%$ неопределенно долгое время [1].

Содержание железа в пахотном слое деградированных торфяных почв Беларуси варьирует в зависимости от местности, однако в основном оно невелико и поэтому не вносит заметного вклада в характер спектральной кривой коэффициента отражения в видимом диапазоне.

Содержание карбонатов в пахотном слое почти всех деградированных торфяных почв Беларуси незначительно, их высокая концентрация имеет место только в отдельных местах [4].

Выбор спектрального диапазона для картографирования деградированных торфяных почв Беларуси

Выбор из всей видимой области спектра более узкого спектрального диапазона, наиболее подходящего для картографирования деградированных торфяных почв, включает в себя две неотъемлемые составные части. С одной стороны, необходимо на основании полученных в контролируемых условиях спектральных коэффициентов отражения торфяной и деградированной торфяной почвы выбрать диапазон, на котором максимальна абсолютная разница между значением спектрального коэффициента отражения торфяной почвы и значением спектрального коэффициента отражения деградированной торфяной почвы. С другой стороны,

необходимо рассмотреть возможные изменения спектральных коэффициентов отражения торфяной и деградированной торфяной почвы под действием различных природных факторов.

Коэффициент спектральной яркости торфяной почвы, измеренный в полевых условиях при влажности почвы 311,5 % и 206,5 %, приведен в работе [3], из результатов которой следует, что коэффициент спектральной яркости торфяной почвы в видимом диапазоне спектра постепенно увеличивается с увеличением длины волны, оставаясь, в целом, весьма низким.

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

В синей и зеленой областях спектра увеличение коэффициента спектральной яркости песка происходит более интенсивно, чем увеличение коэффициента 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 повлиять на спектральные коэффициенты отражения торфяной и деградированной торфяной почвы, прежде всего, необходимо рассмотреть влияние растительности, поскольку для картографирования торфяной и деградированной торфяной почвы она должна 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, искажая результаты съемки почвы. 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 область наибольшего поглощения слегка варьирует. 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. В данном случае целесообразно расширить диапазон до 650–680 нм (а возможно, и больше), поскольку основные параметры системы ДЗ (например, максимальное пространственное разрешение) находятся в обратной зависимости от ширины спектрального канала. Каждая система ДЗ создается при некотором компромиссе между ее основными параметрами, и если один из них можно изменять без существенного ущерба для качества конечного результата, это обязательно следует сделать. В данном случае таким параметром является ширина спектрального канала.

Из других природных факторов, модифицирующих полученное при контролируемых условиях значение спектрального коэффициента отражения, 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.

Таким образом, для окончательного выбора искомого спектрального диапазона

необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования, а выбранный спектральный диапазон 650–680 нм следует рассматривать только как первое приближение к выбору искомого спектрального диапазона.

Выбор граничного значения содержания в торфяной почве органического вещества для картографирования деградированных торфяных почв Беларуси

Для выбранного в предыдущем разделе спектрального диапазона 650–680 нм существуют исследования зависимости спектрального коэффициента отражения торфяной и деградированной торфяной почвы от содержания в ней ОВ. В частности, в работе [9] исследована зависимость величины спектральной отражательной способности при 660 нм воздушно-сухих просеянных через сите с ячейми 0,25 мм образцов торфяной и деградированной торфяной почвы от содержания в ней остатка после прокаливания (ОПП). Участки проведения данного исследования были осушены в 1961 г., первые посевы сельскохозяйственных культур были проведены в 1963 г., взятие проб почвы – в 1991 г. Первый участок исследования – бессменная культура многолетних трав, второй участок – пропашной севооборот, третий участок – зернотравяной севооборот. Из полученных в данной работе зависимостей спектральной отражательной способности от величины ОПП можно сделать следующий вывод. Для всех трех участков, по мере увеличения величины ОПП от наименьшего значение среди взятых проб (для первого участка – 17,9 %, для второго – 31,7 %) до приблизительно 75 % спектральная отражательная способность немногко увеличивается за счет сокращения разброса ее значений в сторону большей спектральной отражательной способности. После приблизительно 75–80 % ОПП спектральная отражательная способность начинает резко возрастать.

Такая зависимость спектральной отражательной способности торфа от его зольности обусловлена маскировкой минеральных частиц частицами гумифицированного ОВ торфа вследствие того, что в зависимости от степени разложения торфа соотношение плотности органических и минеральных компонентов находится в пределах 1:10–1:15, и при этом средний размер частиц песка больше, чем средний размер гумифицированных частиц торфа. Это приводит к тому, что суммарная площадь поверхности частиц торфа гораздо больше суммарной площади поверхности частиц песка, и гумифицированные частицы торфа образуют плотный слой вокруг минеральных частиц. С учетом того, что в торфе всегда содержится значительное количество влаги, большая часть его органических компонентов находится в набухшем состоянии, что еще больше увеличивает площадь их поверхности. Поэтому при спектрометрировании деградированной торфяной почвы в полевых условиях

следует ожидать смещения перегиба на графике спектральной отражательной способности деградированной торфяной почвы в сторону больших значений величины ОПП.

Также необходимо отметить, что по мере развития процесса деградации в торфяной почве постепенно увеличивается массовая доля небольших (< 0,1 мм) гумифицированных частиц торфа [8]. Поскольку именно они и образуют плотный слой вокруг частиц песка, перегиб на графике спектральной отражательной способности деградированной торфяной почвы постепенно, по мере развития процесса деградации сдвигается в сторону меньших значений содержания (массовой доли) ОВ в почве.

В работе [2] изучена зависимость спектральной отражательной способности при 660 нм осоково-гипнового торфа со степенью разложения 25–30 % от содержания минеральных компонентов, преимущественно – песчаных частиц. Из представленной в данной работе зависимости спектральной отражательной способности от величины ОПП следует такой же вывод, как и из предыдущей работы.

Таким образом, из рассмотренных выше оптических свойств деградированных торфяных почв Беларуси следует, что возможностям их картографирования на основе данных ДЗ в наибольшей степени соответствует граничное значение содержания в почве ОВ, равное приблизительно 20 %. Данное граничное значение используется только в Северной Ирландии. Кроме того, в МССПР оно присутствует в виде нижней границы диапазона граничных значений содержания в торфяной почве ОВ (20–30 %). Необходимо отметить, что используемая в МССПР концепция граничного диапазона вместо фиксированного граничного значения полностью соответствует возможности картографирования деградированных торфяных почв с помощью ДЗ, поскольку она позволяет учитывать вариацию расположения области перегиба спектрального коэффициента отражения одного и того же вида торфа, вариацию ее расположения для разных видов торфа, зависимость от влажности и от гранулометрического состава подстилающей минеральной породы, а также ее смещение по мере развития процесса деградации. В качестве граничного диапазона целесообразно выбрать значения ОВ, равные приблизительно 15–25 %.

Выводы. Для большинства осущеных торфяных почв Беларуси, находящихся на разных стадиях деградации, характер спектральной кривой коэффициента отражения почвы в видимом диапазоне определяется содержанием в ней ОВ и ее влажностью, при этом содержащаяся в почве вода способствует увеличению различия значений спектрального коэффициента отражения (в видимом диапазоне) деградированных торфяных почв с различным соотношением массовых долей песка и ОВ.

Выбранный в первом приближении спектральный диапазон, наиболее подходящий для

картографирования деградированных торфяных почв Беларуси дистанционными методами, соответствует приблизительно 650–680 нм.

Для разделения торфяных и деградированных торфяных почв Беларуси при их картографировании с помощью ДЗ целесообразно вместо фиксированного граничного значения

использовать граничный диапазон, соответствующий значениям ОВ приблизительно 15–25 %.

При изучении деградированных торфяных почв Беларуси целесообразно использовать пороговое значение содержания в торфяной почве ОВ, равное 20 %.

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Почтоведение. 2005. № 1. С. 29–37.
2. **Бамбалов, Н. Н.** Граничная величина содержания органического вещества в торфяных и деградированных торфяных почвах / Н. Н. Бамбалов // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель. Минск, 2010. С. 19–22.
3. **Исследование** оптических и физико-химических свойств почв Беларуси. Ч. 1. Каталог спектральных и физико-химических свойств почв Беларуси (Препринт № 8) / А. Ю. Жумарь [и др.] / 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. Минск, 1992.
4. **Киселев, В. Н.** Гидроморфные карбонатно-кальциевые солончаки Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. АН БССР. Сер. с.-г. науок. 1976. № 3. С. 25–35.
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. **Методические** указания по диагностике и классификации почв, образовавшихся после сработки торфа (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смеян [и др.]. Минск, 1991.
7. **Окрушки, Г.** Сельскохозяйственная ценность почв болотного происхождения в связи с минерализацией осушенных торфяников / Г. Окрушки, С. Ливски // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. Минск, 1969. С. 105–114.
8. **Развитие** теории минерализации и гумификации в целях научного обоснования методов консервации органогенного слоя торфяных почв, экологической реабилитации нарушенных болот, деградированных торфяных почв и снижения загрязнения атмосферы диоксидом углерода : отчет о НИР (заключ.) / Ин-т природопользования Нац. акад. наук Беларуси ; рук. темы д-р с.-х. наук, академик Н. Н. Бамбалов, канд. техн. наук В. А. Ракович. Минск, 2010. 301 с. № ГР 20062957.
9. **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. 148 с.
10. **Смеян, Н. И.** Методические указания по полевому исследованию и картографированию антропогенно-преобразованных почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон, И. И. Бубен. Минск, 2001.
11. **Agricultural Land Classification of England and Wales: Revised guidelines and criteria for grading the quality of agricultural land** / Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. London, 1988. 52 р.
12. **Burton, R. G. O.** Lowland Peat in England and Wales / R. G. O. Burton, J. M. Hodgson // Soil Survey Technical Monograph. Harpenden, UK, 1987. № 15. 146 р.
13. **Dawson, Q. L.** Low-lying agricultural peatland sustainability under managed water regimes : Ph.D. Thesis / Q. L. Dawson / Cranfield University at Silsoe, National Soil Resources Institute. Cranfield, 05/2006. 299 р.
14. **Joosten, H.** Wise Use of Mires and Peatlands / H. Joosten, D. Clarke / International Mire Conservation Group and International Peat Society. NHBS, Finland, 2002. 304 р.
15. **Montanarella, L.** The distribution of peatland in Europe / L. Montanarella, R. J. A. Jones, R. Hiederer // Mires and Peat. 2006. Vol. 1. Art. 1. P. 1–10.
16. **Rawlins, B. G.** Airborne radiometric survey data and a DTM as covariates for regional scale mapping of soil organic carbon across Northern Ireland / B. G. Rawlins [et al.] // European Journal of Soil Science. 2009. Vol. 60, Issue 1, February. P. 44–54.
17. **Wise Use of Tropical Peatlands: Focus on Southeast Asia** / ALTERRA – Wageningen University and Research Centre and the EU INCO – STRAPEAT and RESTORPEAT Partnerships ; Eds. J. O. Rieley, S. E. Page. UK, Nottingham: University of Nottingham, School of Geography, 2005. 168 р.
18. **World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007** / IUSS Working Group WRB // World Soil Resources Reports / FAO. Rome, 2007. № 103. 128 р.
19. **Zaccone, C.** Chemical and spectroscopic investigation of porewater and aqueous extracts of corresponding peat samples throughout a bog core (Jura Mountains, Switzerland) / C. Zaccone [et al.] // Journal of Soils and Sediments. 2009. Vol. 9, Issue 5. P. 443–456.
20. **Zauft, M.** Carbon storage in the peatlands of Mecklenburg–Western Pomerania, north-east Germany / M. Zauft [et al.] // Mires and Peat. 2010. Vol. 6, Art. 4. P. 1–12.

A. A. Яновский

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДИСТАНЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Разделение торфяных и деградированных торфяных почв в разных странах и разными исследователями в одной стране проводится на основе различных граничных значений содержания в торфяной почве ОВ, при этом возможностям картографирования деградированных торфяных почв Беларуси на основе данных ДЗ в наибольшей степени соответствует граничное значение содержания ОВ, принятое в Северной Ирландии и равное 20 %.

Для большинства осушенных торфяных почв Беларуси, находящихся на разных стадиях деградации, характер спектральной кривой коэффициента отражения почвы в видимом диапазоне определяется содержанием в ней ОВ и ее влажностью.

Выбранный в первом приближении спектральный диапазон, наиболее подходящий для картографирования деградированных торфяных почв Беларуси дистанционными методами, соответствует приблизительно 650–680 нм.

При картографировании деградированных торфяных почв Беларуси с помощью ДЗ, вместо фиксированного граничного значения целесообразно использовать граничный диапазон, соответствующий значениям ОВ приблизительно 15–25 %.

A. A. Yanovskiy

METHODICAL BACKGROUND OF REMOTE MAPPING OF DEGRADED PEAT SOILS OF BELARUS

The threshold value of organic matter that separates peat soil and degraded peat soil differs among countries and individual researchers, the value adopted in Northern Ireland, equal to 20 % organic matter, being the most suitable one for the degraded peat soils of Belarus mapping on the basis of remote sensing.

For most of the drained peat soils of Belarus, being on different stages of degradation, the reflectance factor in the visible band depends on organic matter content in the soil and its wetness.

The spectral region that is the most suitable for mapping of degraded peat soils of Belarus on the basis of remote sensing, in the first approximation corresponds to approximately 650–680 nm.

On mapping degraded peat soils of Belarus on the basis of remote sensing, it is reasonable to use the threshold range instead of the fixed threshold value, the former being equal to approximately 15–25 % of organic matter.

Л. А. Поливко

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ В БЕЛАРУСИ

Изложены результаты исследований, выполненных в рамках Государственной программы «Научное сопровождение развития атомной энергетики в Республике Беларусь на 2009–2010 годы и на период до 2020 года», по теме «Разработка предложений по использованию геологической среды для решения проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом»

Анализ опыта обращения с высокоактивными радиоактивными отходами (РАО) в странах с развитой ядерной энергетикой и особенностей геологического строения территории Беларуси позволил выбрать в качестве приоритетного объекта для заложения глубинного хранилища высокоактивных долгоживущих РАО соленосные отложения средневерхнефаменской формации в западной части Припятского прогиба

Использование атомной энергии предполагает обязательное решение проблем, связанных с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Высокая активность отходов и длительный период времени, необходимый для обеспечения их распада до безопасных пределов, делает предпочтительным глубокое размещение хранилища в геологических объектах, характеризующихся высокой степенью закрытости [3, 7, 8, 12, 17]. Изоляция радиоактивных отходов в этом случае обеспечивается комбинацией инженерных и естественных барьеров.

Естественный барьер (вмещающие горные породы) для глубинного хранилища РАО является основным. Он должен обеспечивать отсутствие контакта инженерных барьеров с подземными водами, предотвращать миграцию радионуклидов в случае нарушения целостности инженерных объектов, сохранять свои изолирующие свойства и обеспечивать требуемый тепловой режим в условиях воздействия тепловыделяющих РАО. Площадки размещения хранилища не должны испытывать интенсивных тектонических движений, в их пределах не должно быть активных разрывных нарушений, тепловой поток должен быть невысоким.

Вопросы возможности и целесообразности захоронения высокоактивных РАО, а также других высокотоксичных промышленных отходов, в глубоко залегающих геологических формациях уже рассматривались в работах А. В. Кудельского [4, 5]. В настоящее время в связи с принятием решения о строительстве Белорусской АЭС они приобрели особую актуальность конкретной инженерной задачи необходимости решения проблем обращения с высокоактивными РАО и прежде всего с отработавшим ядерным топливом.

Опыт обращения с высокоактивными РАО в странах с развитой ядерной энергетикой показал, что долговременные хранилища предпочтите-

тельно располагать на глубине 400–500 м, а наиболее подходящими вмещающими горными породами являются изверженные кристаллические породы, глины и каменная соль. Названные горные породы имеют в Беларуси широкое распространение и нередко слагают значительные по площади геологические тела большой мощности, что позволяет рассматривать их как объекты потенциально пригодные для размещения хранилищ высокоактивных долгоживущих РАО.

Кратко рассмотрим оценочные параметры указанных выше горных пород, на основании которых они выбраны как наиболее пригодные для устройства долговременных хранилищ высокоактивных РАО, а также наличие соответствующих этим требованиям геологических объектов в Беларуси.

Глины в некоторых странах рассматриваются как перспективные объекты геологической среды для размещения в них хранилищ долгоживущих высокоактивных отходов (ВАО) [7]. К положительным свойствам глин следует отнести низкую водопроницаемость и высокую сорбционную емкость по отношению к радионуклидам. Недостатком глин является их низкая теплопроводность, а при повышении температуры выше 100 °C начинается дегидратация глинистых минералов и, как следствие, потеря сорбирующих свойств и пластичности и появление трещиноватости. Проходка горных выработок в глинах требует их крепления.

Глинистые отложения в разрезе осадочно-го чехла Беларуси распространены достаточно широко [2]. Но при их ближайшем целевом изучении выясняется, что в основном это толщи ритмичного строения с чередованием как мелких, так и крупных ритмов, в основании которых залегают пески, песчаники или даже конгломераты. В результате выполненного анализа в качестве относительно пригодных для оборудования хра-

нилищ высокоактивных РАО на территории Беларуси выделены отложения вильчанской серии венда и мозырской свиты нижнего триаса.

Вильчанская серия венда представляет собой толщу обломочных пород мощностью в сотни метров, в которой чередуются преобладающие в разрезе тилллиты (древние погребенные морены), песчаники, пески, глинисто-алевритовые породы и глины. В качестве геологических объектов для оборудования хранилищ высокоактивных РАО интерес представляют выдержаные достаточно мощные тиллитовые пачки. Типичные тилллиты – это несортированные породы с беспорядочно рассеянным в них грубообломочным материалом различной размерности – от мелкого гравия до крупных валунов. Несоднородность гранулометрического состава и значительное присутствие глинистой составляющей обусловили плотную структуру упаковки и слабую проницаемость тилллитов, что позволило квалифицировать их в качестве газонепроницаемой кровли на подземном хранилище газа, оборудованном на Осиповичской купольной структуре.

Естественно, что миграция радионуклидов в глинистой тиллитовой толще будет также сильно затруднена. Отрицательными факторами являются прослои и линзы обводненных песчаников и песков, а также относительно слабые прочностные свойства практически нелитифицированных тилллитов. Это потребует крепления и осушения горных выработок в процессе проходки и последующей эксплуатации.

Глинистые отложения нижнего триаса развиты в основном на юго-востоке Беларуси и представляют собой крупный трансгрессивно-ретрессивный завершенный ритм, состоящий из двух литологических толщ: нижней – песчаной красноцветной (выступовичская и кореневская свиты) и верхней – глинистой пестроцветной (мозырская свита). Для оборудования хранилища высокоактивных РАО возможный интерес представляет верхнемозырская подсвита, сложенная глинами и мергелями с тонкими прослойками алевролита и песчаника.

Мощность верхнемозырской подсвиты изменяется от 10 до 130 м, достигая 171 м в скважине Домановичи 1Р. В целом она является водоупорной толщей, разделяющей гидродинамические зоны активного и замедленного водообмена. На полигоне захоронения промышленных рассолов Мозырского подземного хранилища газа она служит водоупорной кровлей над водоносным горизонтом кореневских отложений нижнего триаса, который используется в качестве пласта-коллектора.

К отрицательным факторам при оценке верхнемозырской глинисто-мергельной подсвиты как объекта для размещения хранилища РАО следует отнести наличие прослоев обводненных

песчаников и слабые прочностные свойства практически нелитифицированных терригенных и глинистых триасовых образований, что потребует осушения и крепления горных выработок в процессе проходки и последующей эксплуатации. Прослои обводненных песчаников могут служить также каналами миграции радионуклидов.

Кристаллические породы характеризуются высокой прочностью, устойчивостью к воздействию высоких температур, повышенной теплопроводностью. Горные выработки в прочных, не разрушенных выветриванием, кристаллических породах могут сохранять устойчивость в течение всего срока существования хранилища РАО. Подземные воды в этих породах содержатся, как правило, в ограниченном количестве. На оптимальной для заложения хранилища глубине они имеют обычно низкую минерализацию, слабошелочную реакцию и восстановительный потенциал, что соответствует условиям минимальной растворимости радионуклидов.

Разогрев стенок хранилища может привести к возникновению циркуляции нагретых растворов и вторичному минералообразованию, тампонирующему трещиноватость. В интервале температур и давления, присущих хранилищам, будут возникать такие минералы, как хлорит, серпентин, тальк, гидрослюды, монтмориллонит, цеолиты, большинство из которых обладает высокими сорбционными свойствами. Исходя из требований обеспечения максимальной изоляции, предпочтительными являются породы повышенной основности. В частности, гидратация дунитов приведет к приращению их объема за счет новообразованных минералов на 47 %, габбро – на 16, диорита – на 8, гранодиорита – на 1 %. При гидратации гранита самозалечивание трещин практически не происходит, однако под действием ионизирующего излучения они проявляют сорбционные свойства.

Варианты постоянного хранения высокоактивных РАО в кристаллических породах рассматриваются и уже в различной степени реализованы в ряде стран [15]. В пределах Беларуси они слагают кристаллический фундамент, перекрытый чехлом осадочных отложений мощностью от нескольких десятков до 6000 м [2]. Приемлемая для заложения хранилища высокоактивных РАО глубина наблюдается в пределах Центрально-Белорусского массива, где поверхность кристаллического фундамента находится на глубине 150–385 м. На юге Беларуси у д. Глушковичи и на Микашевичско-Житковичском выступе, где кристаллический фундамент залегает nearest closely to the surface, размещение хранилища исключается, поскольку в Глушковичах и Микашевичах ведется разработка месторождений строительного камня, а вблизи

г. п. Житковичи разведано месторождение бериллия и редкоземельных элементов.

Кристаллический фундамент Беларуси вскрыт более чем 4500 скважинами, но размещены они весьма неравномерно. На данной стадии изученности фундамента можно прити к выводу, что в пределах Центрально-Белорусского массива на оптимальной глубине могут быть выявлены тела, пригодные для создания хранилища высокоактивных РАО. Поскольку кристаллический фундамент представляет собой сложно дислоцированную и петрографически пеструю толщу, выбор и изучение геологического объекта для заложения хранилища потребует значительных затрат времени и средств. Высокая прочность кристаллических пород является положительным фактором с точки зрения долговременной устойчивости горных выработок, следовательно, минимальных затрат в процессе их дальнейшей эксплуатации, но предопределяет высокую стоимость сооружения хранилища.

К отрицательным факторам следует отнести и то, что кристаллические породы на оптимальной для заложения хранилища глубине находятся в зоне активного водообмена. При наличии уже имеющихся или вновь образовавшихся водопроводящих трещин это создаст условия для поступления подземных вод в хранилище и миграции радионуклидов. Следует также учитывать, что Центрально-Белорусский массив во всех программах планируемых геологоразведочных работ фигурирует как объект дальнейших исследований с целью выявления различных полезных ископаемых. С этой точки зрения размещение хранилища в его пределах является нежелательным, так как может создать серьезные помехи при поисках, разведке и разработке возможных месторождений.

Каменная соль в толще земной коры образует пластовые залежи мощностью в десятки и сотни метров. Являясь практически абсолютным водоупором, она надежно защищает РАО от подземных вод. Каменная соль пластична, и возможные трещины в течение короткого времени самозалечиваются. Проходка шахт и штреков в солях относительно проста. Для неупорядоченного складирования отходов можно создавать полости методом подземного размыва или ядерными взрывами [6, 9].

Важным положительным свойством каменной соли является ее высокая теплопроводность. Текучесть соли, усиливающаяся при воздействии тепла, представляет собой как положительное, так и отрицательное качество. С одной стороны, это обеспечивает отсутствие в породе водопроницаемых трещин, с другой – заполнение полости солью приводит к недоступности РАО для возможного их извлечения.

В США в районе г. Карлсбад (штат Нью-Мексико) с 1974 г. в подземной опытной лабора-

тории по захоронению радиоактивных отходов ведется изучение стратифицированных соляных отложений [18]. В Германии концепция глубокого геологического захоронения для всех типов РАО была разработана еще в 60-х годах прошлого века [11]. В качестве конкретных объектов выбирались соляные купола (Горлебен, Морслебен, Ассе II) по причине неглубокого залегания соленосных отложений в их сводовой части.

При кажущейся очевидности такого выбора правильность его не подтвердилась последующей практикой. Соленосные отложения в ядрах солянокупольных структур сильно дислоцированы. В связи с интенсивным течением соли залегающие в основании ритмопачек несоленые образования разорваны, перемяты. Углы падения слоев изменяются от весьма незначительных до 90°, некоторые из слоев запрокинуты. Указанные особенности геологического строения соляных куполов создавали значительные трудности при их изучении, а также в процессе сооружения захоронений и их эксплуатации [13, 14, 16].

Обобщая мировой опыт устройства долговременных хранилищ высокоактивных РАО в каменной соли, можно сделать вывод, что более перспективными для их заложения являются стратифицированные соленосные отложения с близким к горизонтальному, не затронутым соляным тектогенезом залеганием. Ненарушенное залегание соленосных отложений позволяет значительно сократить объемы работ при изучении геологического объекта и, в конечном итоге, повышает надежность изоляции радиоактивных отходов.

Нецелесообразно, на наш взгляд, использовать под долгосрочные хранилища отработанные шахты. В отличие от экономически выгодной добычи каменной и калийных солей при строительстве долгосрочного хранилища высокоактивных РАО следует исходить из минимизации числа и размера горных выработок с сохранением целиков, обеспечивающих их устойчивость. Кроме горнотехнических условий в качестве отрицательного здесь следует учитывать также социальный фактор. Горнодобывающие предприятия являются, как правило, градообразующими, а размещение экологически потенциально опасных объектов всегда вызывает сильное противодействие местного населения. К такому же выводу пришли немецкие коллеги, имеющие опыт сооружения долговременных хранилищ высокоактивных РАО в отработанных соляных шахтах Ассе II и вблизи г. Морслебен [1].

На территории Беларуси соленосные отложения широко представлены в Припятском прогибе. В истории развития Припятского прогиба выделяются четыре этапа соленакопления: эйфельский, позднефранский, раннефаменский и среднепозднефаменский. Из них позднефранский и среднепозднефаменский являются наибо-

лее крупными [2]. Соленосные отложения среднедевонского и раннефаменского возраста по причине ограниченного распространения и глубокого залегания не представляют интереса для целей размещения хранилищ высокоактивных РАО.

Соленосные отложения верхнефранской формации развиты на площади 21 тыс. км². Мощность их изменяется от 95 м на северо-западе прогиба до 945 м на юге и юго-востоке, при наиболее характерной для большей части территории распространения 300–600 м. Залегают соленосные отложения верхнефранской формации на глубине от 1040 до 4250 м, что значительно превышает оптимальные глубины для оборудования хранилищ высокоактивных РАО.

Средневерхнефаменская соленосная формация развита практически на всей территории Припятского прогиба. Соленосная литофация распространена на площади 23,2 тыс. км². Мощность ее изменяется от 65 м до 3250 м, закономерно возрастая на восток и резко уменьшаясь на крайнем востоке прогиба (см. рисунок). Преобладающая мощность составляет 1300–1400 м. Поверхность средневерхнефаменских соленосных отложений залегает на глубине от 350 до 3000 м, погружаясь в направлении возрастания мощности. Близкая к минимальной глубина залегания кровли наблюдается на значительной площади в западной части прогиба, а также в сводовых частях солянокупольных структур, а глубокое ее погружение – в синклинальных зонах. Формирование структуры поверхности соленосных отложений происходило под влиянием трех основных факторов: тектонических процессов на стадии седиментации средневерхнефаменской соленосной формации, а также соляного тектогенеза и подземного выщелачивания на постседиментационном этапе ее преобразований. Внутреннее строение формации в разрезах, не затронутых соляным тектогенезом, характеризуется практически горизонтальным залеганием переслаивающихся пачек каменной соли и несоленных пород. На участках развития соляной тектоники разрез формации сильно дислоцирован и получить здесь достоверное представление о его внутренней структуре весьма сложно.

На долю легкорастворимых солей в разрезе средневерхнефаменской формации приходится от 25 до 75 % (в среднем 55 %). Среди соляных пород главенствующую роль играет каменная соль (галит). В калийных горизонтах представлены сильвиниты и карналлиты. Каменная соль обладает обычно массивной, реже полосчатой текстурой и представлена в основном кристаллическим зернистым галитом.

Среди несоленных пород в разрезе формации наиболее часто встречаются карбонатные и карбонатно-глинистые разности хемогенно-

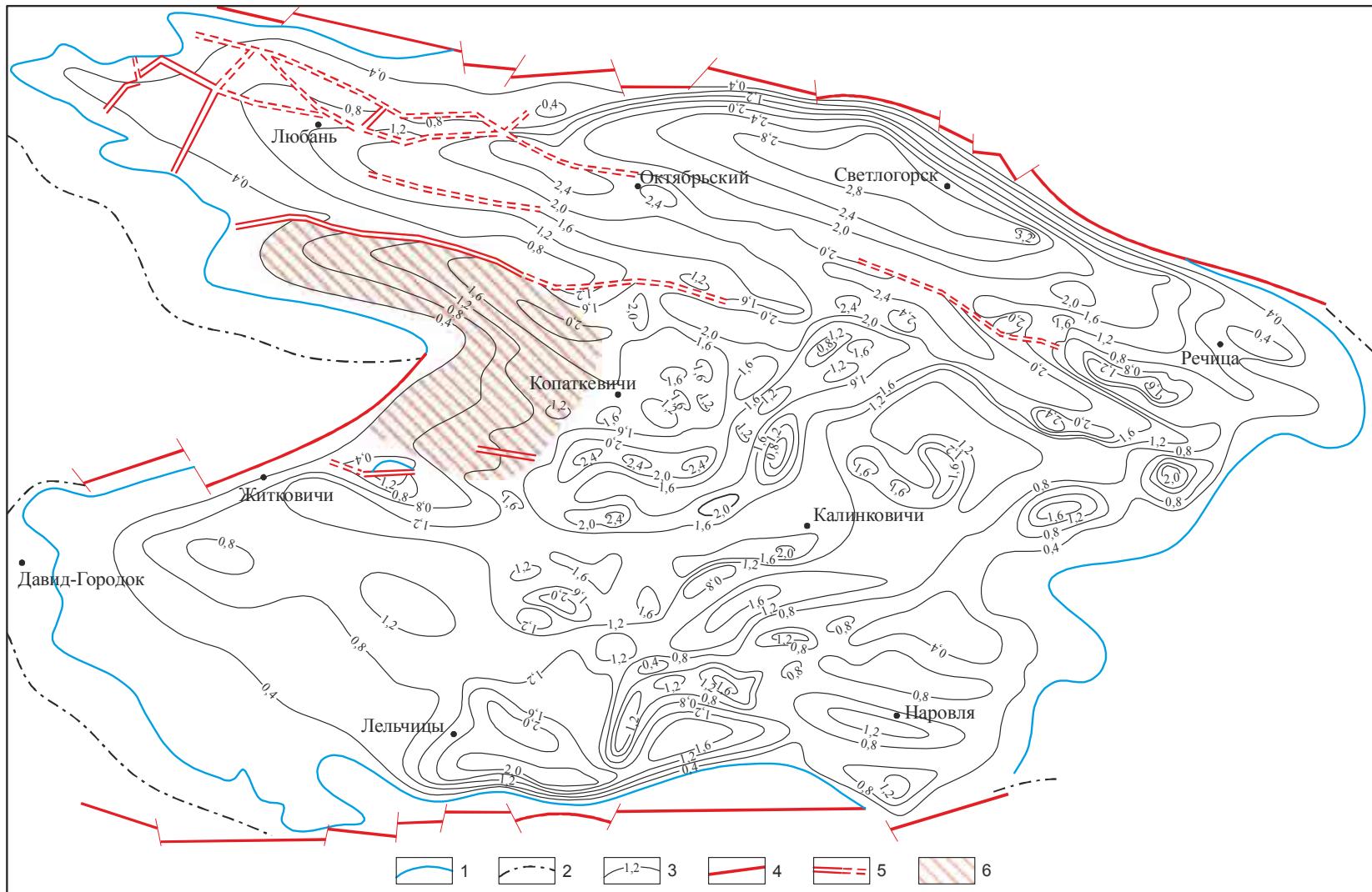
терригенных пород: глины карбонатные и слабо-карбонатные, мергели глинистые, доломитовые и известковые, относительно чистые доломиты и известняки, сульфатные породы. Значительное преобладание алюмосиликатного аллотигенного материала дает терригенную ветвь пород – песчаники, алевролиты, а также смешанные переходные разности. В целом в несоляном составе формации преобладают карбонатные породы, в которых основная масса (более 50 %) карбонатов возникла в результате осаждения мергелей из воды (хемогенные).

Приведенная характеристика соленосных отложений позволяет прийти к заключению, что наибольший интерес для сооружения хранилищ высокоактивных РАО представляет средневерхнефаменская соленосная формация в западной части Припятского прогиба, где она залегает на оптимальной глубине (400–500 м) и не затронута соляной тектоникой, значительно усложняющей структуру осадочного чехла в целом и соленосных отложений в частности.

Выше в качестве перспективных объектов для заложения глубоких долговременных хранилищ высокоактивных РАО нами рассмотрены глинистые толщи тиллитов вильчанской серии венда и верхнемозырской подсвиты триаса, кристаллические породы фундамента и девонские соленосные отложения. Сравнительный анализ указанных объектов убеждает в том, что оптимальные условия для размещения хранилища РАО наблюдаются в соленосных отложениях средневерхнефаменской формации.

Решающим фактором при выборе соленосных отложений в качестве перспективного объекта для оборудования хранилища высокоактивных РАО является их практически нулевая гидравлическая и диффузионная проницаемость, обеспечивающая надежную изоляцию отходов. Причем высокими изоляционными свойствами характеризуются не только пласти чистой каменной соли, но и разделяющие их глинисто-карбонатные и терригенные пачки, поскольку они насыщены хемогенными образованиями (галитом, сульфатами и карбонатами).

Высокие водоупорные свойства всех составляющих разреза средневерхнефаменской соленосной формации убедительно доказываются наличием сохранившихся в глинистых пачках седиментационных поровых рассолов хлоридно-кальциевого состава с минерализацией более 400 г/дм³, свидетельствующим об отсутствии водообмена в постседиментационный период. Это создает возможность сооружения хранилища высокоактивных РАО в глинисто-карбонатных пачках, что предоставляет некоторые преимущества относительно их размещения непосредственно в соли.



Схематическая карта мощности верхнефаменской соленосной формации
(составили Б. А. Протасевич, Э. А. Высоцкий, В. З. Кислик):

1 – границы распространения каменной соли; 2 – аналогов соленосной формации (без каменной соли);
3 – изопахиты формации, км; 4 – краевые разломы; 5 – прочие разрывные нарушения; 6 – территория перспективная для
выявления альтернативных площадок, пригодных под заложение хранилищ высокоактивных РАО

Как известно, текучесть соли усиливается при воздействии тепла. Интенсивное тепловыделение при распаде радионуклидов может приводить к разогреву стенок хранилища, ухудшению прочностных свойств каменной соли и заплыванию горных выработок, что делает РАО недоступными при необходимости их извлечения для переработки и дальнейшего использования. Этого можно избежать, размещая высокотехнологичное долгосрочное хранилище РАО в глинистокарбонатных пачках, представленных мергелями. Залегающие в толще непроницаемой соли и обладающие практически нулевой гидравлической и диффузионной проницаемостью, мергели под воздействием высокой температуры только улучшают свои прочностные свойства вплоть до спекания в клинкер.

Фактически горизонтальное, не осложненное соляной тектоникой залегание соленосных отложений средневерхнефаменской формации на оптимальной глубине (400–500 м) в западной части Припятского прогиба позволит значительно удешевить производство поисково-разведочных работ при выявлении геологических объектов, перспективных для заложения хранилищ РАО. Соленосные отложения обладают оптимальными прочностными свойствами, обеспечивающими достаточную устойчивость стенок горных выработок при относительно легкой их проходке. Широкое площадное распространение соленосных отложений предоставляет возможность для выбора участков с наиболее приемлемыми ландшафтными, инженерно-геологическими и социально-экономическими условиями.

Поскольку стратегия обращения с РАО в Беларуси находится в стадии разработки, рассмотрим возможность не только долгосрочного упорядоченного хранения высокоактивных РАО, но также и их бессрочного захоронения. На наш взгляд, наиболее приемлемым способом неупорядоченного бессрочного захоронения высокоактивных РАО является захоронение в полостях, создаваемых методом подземного размыва в солях через скважины. В Беларуси имеется опыт создания подземных хранилищ жидкых углеводородов и природного газа в таких полостях на Мозырской солянокупольной структуре.

Возможно совмещение высокотехнологичного хранилища РАО и бессрочного неупорядоченного их захоронения в пределах одной площадки, оборудованных на различных глубинах.

Захоронение скважинного типа при этом может быть оборудовано на большей глубине как более простое в обустройстве и растянутое по вертикали. В этом плане интерес представляют отложения нижней части разреза средневерхнефаменской соленосной формации, выделяемой как галитовая субформация, отличающейся наличием пачек чистой каменной соли мощностью до 100 м и более.

На предприятиях ядерной энергетики и в других отраслях народного хозяйства образуются жидкие высокоактивные РАО, захоронение которых может производиться путем закачки в глубокие водоносные горизонты. Наличие в разрезе межсолевых и подсолевых девонских отложений водоносных горизонтов с высокой степенью закрытости позволяет организовать закачку жидких радиоактивных отходов в едином комплексе с высокотехнологичным хранилищем и бессрочным захоронением в соленосных отложениях. Создание такого комплексного хранилища/захоронения имеет свои преимущества, поскольку позволяет закачивать в глубокие водоносные горизонты радиоактивные отходы, получаемые при дезактивации оборудования, а также закачивать рассолы, вытесняемые при заполнении полости бессрочного захоронения. Очевидна также экономическая целесообразность обустройства и эксплуатации такого комплексного хранилища/захоронения.

Объем журнальной статьи и начальная стадия разработки затронутой проблемы позволяют лишь в концептуальной форме рассмотреть возможные направления дальнейших исследований. Имеющийся опыт стран с развитой атомной отраслью показывает, что разработка проектов постоянных хранилищ ВАО включает значительные объемы сложнейших технологических исследований, различные экспертизы и длительные процедуры их рассмотрения и утверждения на самых высоких уровнях, и занимает в конечном итоге несколько десятков лет. Поэтому разработку тематики глубокого захоронения высокоактивных и долгоживущих РАО в геологических объектах, характеризующихся высокой степенью закрытости, необходимо начинать уже сейчас, одновременно с началом процесса создания отечественной атомной энергетики. Полученные при этом наработки и опыт дадут возможность компетентно участвовать в международных проектах по этой тематике.

Литература

- 1. Борнеман, О.** Соляной диапир Горлебен как потенциальный могильник для радиоактивных отходов в Германии – основные результаты геологоразведочных работ / О. Борнеман [и др.] // Геэкология. Инженерная геология, гидрогеология. Геокриология. СПб., 2004. № 1. С. 1–10.
- 2. Геология Беларуси** / под. ред. А. С. Махнача [и др.]. Минск, 2001.
- 3. Еремина, О. Н.** Проблема захоронения и утилизация отходов в материалах 32 Международного геологического конгресса / О. Н. Еремина. Флоренция. Италия, 20–28 августа 2004 г.).

4. Кудельский, А. В. Перспективы подземного захоронения промышленных отходов на территории Белорусской ССР / А. В. Кудельский, М. Г. Ясовеев. Минск, 1989.
5. Кудельский, А. В. Геолого-гидрогеологические предпосылки подземного захоронения радиоактивных отходов в Белоруссии. Районирование и простейшие модели / А. В. Кудельский, М. Г. Ясовеев // Атомная энергия. 1991. Т. 70. Вып. 5.
6. Об организации научно-исследовательского полигона по изучению возможностей захоронения высокоактивных отходов в горном массиве Большой Азир в Западном Казахстане. Аналит. записка. Соц.-эконом. фонд «Единение России». М., 2000.
7. Проблемы захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях. [Электронный ресурс]. 2007. Режим доступа : <http://www.revolution.allbest.ru>.
8. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности (проект нормативных документов). Вестн. Госатомнадзора России. 2004. № 2. С. 62–81.
9. Ядерные испытания СССР. Том II. Глава 4. 2006.
10. Frances's Radioactive Waste Management Program. U.S. Department of Energy. [Electronic resource]. 2001. Mode of access : <http://www.ocwrm.doe.gov>.
11. Germany's Radioactive Waste Management Program. U.S. Department of Energy. [Electronic resource]. 2001. Mode of access : <http://www.ocwrm.doe.gov>.
12. High-level radioactive waste management. [Electronic resource]. 2009. Mode of access : <http://en.wikipedia.org>.
13. Repository for radioactive waste Morsleben. [Electronic resource]. 2009. Mode of access : <http://en.wikipedia.org>.
14. Salt dome Gorleben. [Electronic resource]. 2009. Mode of access : <http://en.wikipedia.org>.
15. Schacht Konrad. 2009. [Electronic resource]. Mode of access : <http://en.wikipedia.org>.
16. Schacht Asse II. 2009. [Electronic resource]. Mode of access : <http://en.wikipedia.org>.
17. The deep geological repository: an unavoidable and ethically correct solution. XXIV Ann. Intern. Symposium. [Electronic resource]. 1999. Mode of access : <http://www.world-nuclear.org>.
18. Waste Isolation Pilot Plant. [Electronic resource]. 2009. Mode of access : <http://en.wikipedia.org>.

Государственное предприятие «БЕЛГЕО»

Поступила в редакцию 15.02.2012

Л. А. Поливко

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ В БЕЛАРУСИ

Использование атомной энергии предполагает обязательное решение проблем, связанных с радиоактивными отходами (РАО) и отработавшим ядерным топливом. Высокая активность отходов и длительный период времени, необходимый для обеспечения их распада до безопасных пределов, делает предпочтительным глубокое размещение хранилища в геологических объектах, характеризующихся высокой степенью закрытости. Приоритетным объектом признаны соленосные отложения, обладающие фактически нулевой проницаемостью и оптимальным сочетанием прочностных свойств и условий проходки горных выработок. Наиболее перспективной для размещения глубокого хранилища РАО является западная часть Припятского прогиба, где средневерхнефаменские соленосные отложения находятся на оптимальной глубине (400–500 м) и характеризуются ненарушенным близким к горизонтальному залеганием, не осложненным соляным тектоценозом.

L. A. Polivko

ON THE POSSIBILITY OF GEOLOGICAL MEDIUM EMPLOYMENT TO SOLVE THE PROBLEMS OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL IN BELARUS

Use of nuclear energy presupposes a due solution of problems related to radioactive waste (RAW) and nuclear fuel waste. High activity of the radioactive waste and a significant period of time to decay up to safe limits make it preferable to place a deep-seated repository within geological facilities characterized by a high degree of leak-tightness. Saliferous deposits possessing practically zero permeability together with an optimum combination of mechanical properties and conditions of mine opening driving are acknowledged to be a high-priority facility. The most perspective site for placing a deep-seated radioactive waste repository is the western part of the Pripyat Trough where Middle-Upper Famennian saliferous deposits are situated at an optimum depth (400–500 m) and are characterized by undisturbed, close to horizontal bedding not complicated by saliferous tectogenesis.

УДК 622.331: 878

**А. П. Гаврильчик, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич, Т. И. Макаренко,
А. В. Осипов, С. Т. Мультан, Л. П. Калилец, Н. В. Шевченко**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ НОВЫХ ЗАДАЧ ИХ ОСВОЕНИЯ

Обсуждены основные этапы использования торфяных ресурсов республики и новые задачи их освоения в реалиях настоящего времени. Проанализированы и доработаны критерии распределения торфяных месторождений по направлениям использования, уточнены методические подходы по решению новых задач. На примере торфяного фонда Гомельской области даны предложения по новому составу целевых фондов.

Наличие значительных запасов торфяных ресурсов на территории республики благодаря благоприятным в историческом плане условиям торфообразования с давних пор способствовало их активной эксплуатации. Традиционное направление использования торфа в качестве топлива получило широкое распространение в первые послереволюционные годы становления энергетической отрасли государства. В довоенный период торф в энергетическом балансе БССР составлял до 70 % [8].

В 1950–1970-е годы в республике проводилось крупномасштабное осушение болот, в результате чего в состав сельскохозяйственных угодий было включено большое количество осущенных торфяных месторождений, что обеспечило значительный прирост сельскохозяйственной продукции страны. Кроме того, в этот период получило широкое развитие использование торфа как органического удобрения в различных формах для малопродуктивных почв, что способствовало поддержанию положительного баланса гумуса в пахотных землях почти во всех административных районах республики. В 70–80-е годы XX ст. в БССР ежегодная добыча торфа составляла около 40 млн т, в результате чего многие крупные торфяные месторождения, являющиеся сырьевыми базами торфопредприятий, были выработаны [9,16]. В связи с этим к 1990-м годам встал вопрос оценки существующего торфяного фонда и определения путей эффективного его использования в дальнейшем.

С целью упорядочения вопросов использования торфяных ресурсов по распоряжению Совета Министров БССР разработана и одобрена «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года» (постановление от 25 ноября 1991 г. № 440) [18]. Схемой в соответствии с установленными в республике социально-экономическими условиями развития экономики торфяные ресурсы распределены по целевым фондам: земельный, природоохраный, разрабатываемый, запасной, неиспользуемый. Распределение осуществлено следующим образом: зе-

мельный – 40,2 %, природоохраный – 13,0, разрабатываемый – 4,5, запасной – 1,3, выработанный – 8,7 и неиспользуемый – 32,3 % площади изученных торфяных болот.

Традиционные направления использования торфяных месторождений – топливное, сельскохозяйственное и природоохранное получили в дальнейшем широкое развитие во всех регионах республики и обеспечивали в свое время хорошие результаты хозяйствования на земле.

В последующем с изменением социально-экономических условий, связанных с распадом СССР, темпы добычи и использования торфа по традиционным направлениям в республике существенно снизились. Так, за 1991–2000 гг. фактическая добыча торфа уменьшилась значительно и в дальнейшем колебалась в пределах 2–2,5 млн т. В последующие годы отмечалось некоторое увеличение – в 2008 г. общая добыча торфа составила 2,9 млн т.

Научные исследования по углубленному изучению состава и свойств торфа современными методами, выполненные в предыдущие годы и продолжающиеся в настоящее время, способствовали выработке новых подходов к использованию этого ценного природного ресурса. Выявленные при этом уникальные свойства органической составляющей торфа, ее неограниченная способность к модификации и направленным изменениям свидетельствуют о больших возможностях получения на этой основе новых достаточно уникальных продуктов и препаратов различного назначения. Это широкий класс органических и органоминеральных удобрений, мелиоративных и удобрительных смесей, грунтов, биостимуляторов, ростовых веществ, кормовых добавок и другой продукции для сельского хозяйства; сорбционных материалов, красителей, ингибиторов коррозии металлов, торфощелочных реагентов, литейных и антиадгезионных составов для промышленных производств; восков, лекарственных средств, предметов бытовой химии, косметики и др. [4–6, 11–13].

Следует отметить, что опробованные на практике производства торфяной продукции относятся к малотоннажным и ресурсосберегающим, а предварительные технико-экономические расчеты свидетельствуют об их высокой рентабельности. Социально-экономическое значение такого направления использования торфа заключается в расширении ассортимента товаров для населения, в ресурсосберегающем экономическом использовании торфа, возможном импортозамещении.

В реалиях рыночной экономики с позиции современных требований хозяйствования традиционные направления использования торфа следует признать малоэффективными. При топливном использовании сжигаются весьма ценные соединения торфа: битумы, углеводный комплекс, гуминовые вещества, которые в другом назначении могли бы принести большую выгоду. При освоении в качестве сельскохозяйственных угодий используется только верхний, неглубокий, слой торфяной залежи с находящимися в нем питательными веществами, а остальной торф как подложка не задействован и, кроме того, подвергается техногенному воздействию и минерализации органического вещества. При использовании торфяных месторождений в составе охраняемых объектов важные биосферные функции в основном выполняются также только поверхностным торфяным слоем, тесно связанным с окружающей средой, а низлежащий торф является в значительной мере нейтральной субстанцией в системе природных торфоболотных комплексов [2].

В настоящее время в новых социально-экономических условиях развития суверенной Республики Беларусь требуются более современные и эффективные способы использования торфяных ресурсов, основанные на комплексных подходах освоения их многообразных и уникальных свойств, на что ориентируют ряд нормативных документов [7, 14].

Новые задачи касаются как традиционных направлений использования этого ресурса, так и ориентируют на новые «альтернативные виды продукции» на основе торфа. В связи с этим рядом организаций республики под руководством НАН Беларуси разработана и утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь (протокол № 94 от 23.01.2008 г.) Государственная программа «Торф» на 2008-2010 гг. и на период до 2020 г. [3], в которой в конкретных заданиях установлены пути реализации новых задач.

В сельскохозяйственном и лесоустроительном направлениях освоения торфяных месторождений следует существенно повысить эффективность их использования за счет совершенствования методов применения и новой ин-

новационной продукции на основе ресурсосберегающих и экологобезопасных технологий.

Кроме того, торфяная отрасль ориентирована на развитие новых инновационных производств по «альтернативным направлениям использования торфа и продукции на его основе» [15].

Своеобразие новых задач заключается не только в увеличении валовых показателей объемов добычи установившимися технологиями, но и в специальном подборе определенного сырья со специфическими характеристиками общетехнических свойств, а также показателей ботанического и группового состава. Реализация таких требований предусматривает также использование новых подходов к выбору технологии добычи и технологических процессов его хранения и подготовки, обеспечивающих получение кондиционного сырья.

Эффективным вариантом освоения торфяного месторождения следует считать только такой, который обеспечивает максимальную экономическую выгоду от использования потенциальной ценности полезного ископаемого при строгом ограничении негативного воздействия на окружающую среду при этом использовании.

Для выполнения задач по перераспределению торфяных ресурсов по направлениям использования разработан нормативный документ «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 2010–2020 годы». Документ согласован с Институтом природопользования НАН Беларуси, научно-техническим советом Государственной программы «Торф», ГПО «Белтопгаз», Министерством сельского хозяйства и продовольствия итвержден в НАН Беларуси и Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды. В нем обоснованы необходимость и возможность выполнения перераспределения торфяных ресурсов по целевым фондам, проведены существующие и доработанные критерии выделения объектов в целевые фонды, порядок и правила работы по перераспределению торфяных месторождений по целевым фондам, предложены методы получения недостающей информации, определены формы предоставления результатов.

Проблема перераспределения торфяных ресурсов относится к достаточно сложным, информационно насыщенным и многовариантным типам задач. Для принятия оптимального решения по конкретному анализируемому объекту недостаточно только информации о нем. Следует учесть существующие связи этого объекта со всеми составляющими компонентами общей

территориальной системы (природного комплекса), его роль в этой системе.

Немаловажное значение при анализе придается геоморфологическому статусу объекта, его гидрологическому режиму, которые могут быть определены косвенными методами. В ряде случаев привлекаются данные по ботаническому составу, группе и виду залежей, показатели компонентного и химического состава [10]. Учет такой разнообразной информации позволит объективно обосновать эффективные и экологосовместимые технологии освоения торфяных ресурсов республики.

Анализу при перераспределении торфяных месторождений подлежит в первую очередь неиспользуемый фонд, а также земельный при выполнении определенных условий. Эти условия заключаются в наличии определенных запасов торфа (площадь более 50 га, глубина залежи более 1,5 м), в близости к действующим предприятиям (до 50 км), к крупным животноводческим комплексам (до 25 км) и наличии запасов ценных категорий торфа (верховой тип $R \leq 15\%$ и $R \geq 30\%$).

При анализе каждого торфяного месторождения для отнесения его в тот или иной целевой фонд помимо учета общетехнических и специфических характеристик торфа, его запасов, которые размещены в кадастровых справочниках, принимаются во внимание и ряд дополнительных показателей. Это прежде всего его положение и роль в общей структуре территориального комплекса, а также наличие потребности региона в расширении пахотных земель, природоохранных и лесных территорий.

Выполнение работ по перераспределению торфяных месторождений предполагает первоначальный анализ данных об их современном состоянии и использовании, который проводится на местах путем изучения материалов землеустроительных, природоохранных и лесотехнических служб районных исполнительных комитетов и опросах сотрудников этих служб. Здесь же уточняются прогнозные данные о потребности регионов в продукции на основе торфа, а также существующей инфраструктуре этого региона.

Задача перераспределения торфяных месторождений по целевым фондам относится к задачам статистических методов классификации объектов в условиях разнопланового пространства признаков многомерной типизации и вероятностного характера некоторых из них [1]. Поэтому ее решение мы относим к экспертным методам анализа, так как при выборе объекта в определенный целевой фонд необходимо учитывать набор показателей различного состава (количественных и качественных), а также ряд условий непараметрического вида. Здесь помимо глубоких профессиональных знаний и опыта при

принятии решений немаловажное значение имеет интуиция экспертов.

На первоначальном этапе распределения по каждому административному району устанавливается перечень подлежащих анализу торфяных месторождений, для чего из рассмотрения исключаются те из них, которые отнесены в природоохраный и запасной фонды. Этот перечень анализируется одновременно на пригодность к разрабатываемому и природоохранному фондам согласно установленным критериям в первую очередь по основным показателям (тип торфа, степень разложения, зольность и запасы) и дальше по ряду дополнительных параметров и условий.

Приоритетно в природоохранном фонде выделяются месторождения или их части для обеспечения охранных зон водных объектов и зеленых зон городов.

В разрабатываемый фонд последовательно включаются месторождения, пригодные для энергетических целей (новые предприятия, торфобрикетные заводы, мини-ТЭЦ), участки добычи кускового торфа, участки добычи для сельскохозяйственных целей. Ответственным этапом при этом является выбор торфяных месторождений, перспективных для комплексного использования. В этом случае при анализе дополнительно учитывается наличие уникальных категорий торфа, вид торфа, а также расчетные показатели компонентного и химического состава.

Оставшиеся торфяные месторождения перечня составят земельный фонд, а обводненные и закустаренные территории, не представляющие интереса для практического использования, оставляются в неиспользуемом фонде.

Анализу подлежат также выбывшие из разработки торфяные месторождения, на которых при оценке состояния и использования выявлены значительные остатки торфа. Такие оставшиеся запасы торфа могут быть пригодными к разработке для сельскохозяйственного использования (на подстилку, компосты) или организации участков по производству кускового торфа как бытового топлива.

Таким образом, на основе обозначенных методических подходов и установленных критериев были разработаны предложения по новому составу целевых фондов торфяных ресурсов Гомельской области.

Гомельская область расположена на юго-востоке республики. Общая площадь области составляет 40,4 тыс. км². Преобладает низинный рельеф (135–150 м над уровнем моря), охватывающий три четверти территории области. Большая, юго-западная часть области расположена на Полесской низменности, юго-восточная и восточная – на Приднепровской низменности. Северная окраина находится в границах более возвышенных предполесских равнин. На Полес-

ской низменности в границах области выделяются три физико-географических района (два полностью и один частично) подпровинции Белорусское Полесье. Восточная часть Припятского Полесья отличается плоским рельефом поймы реки Припять и ее двух надпойменных террас, местами сложенных дюнами. На юге, на правобережье Припяти, выделяется приподнятое Мозырское Полесье, где на Мозырской гряде находится самый высокий пункт области (221 м). Большая восточная часть Гомельского Полесья размещена на Приднепровской низменности в пойме р. Днепр, западная – на Полесской низменности. Между Днепром и Припятью слегка (до 160 м над уровнем моря) возвышаются Хойникско-Брагинские высоты. На севере области расположена южная окраина Центральноберезинской равнины и почти половина Чечерской равнины. Различают 8 ландшафтов. Ландшафт аллювиальных террасных низменностей занимает 36,3 % территории области, вторичной водно-ледниковой равнины – 20,1, морено-зандровый – 17,1, озерно-аллювиальный низинный – 9,6, пой-

менный – 9,5, вторичной мореной равнины – 6,2, холмисто-моренно-эрзийный – 0,8, нерасчлененных речных долин – 0,4.

Среди полезных ископаемых большое значение имеет торф, известны 1538 месторождений с общими запасами торфа 715 130 тыс. т – 18,3 % промышленных запасов республики. На 10 самых больших месторождениях находятся около 46 % всех запасов торфа области.

Особенностью области является потери торфяного фонда в результате загрязнения территории радиоактивными выбросами. В выполненных исследованиях показано, что торфяные месторождения с уровнем загрязнения до 1 КИ/км² пригодны для добычи торфа, с загрязнением от 1 до 15 КИ/км² – пригодны к разработке, но требуют предварительного снятия поверхностного слоя до 10 см, торфяные месторождения с уровнем загрязнения более 15 КИ/км² – не пригодны для разработки. В табл. 1 приведены указанные потери, которые составили 12,7 % от имеющихся запасов.

Таблица 1. Потери торфяного фонда в результате радиоактивного загрязнения территории по Гомельской области

Район	Количество торфяных месторождений	Общая площадь в нулевых границах, га	Запасы торфа-сырца в пересчете на 40 %-ную влажность, тыс. т
Кормянский	10	300	507
Чечерский	29	3136	5553
Буда-Кошелевский	11	1821	2664
Ветковский	46	6073	9039
Добрушский	14	2926	4489
Хойникский	18	8645	9435
Наровлянский	5	1764	2122
Брагинский	10	35 284	57 338
Итого	143	59 949	91 147

В настоящее время в области работают три торфопредприятия с суммарным объемом добычи торфа 350 тыс. т. Отметим, что на предприятиях отведенные сырьевые базы значительно выработаны, и для дальнейшей их работы необходима прирезка новых площадей. Расширение состава разрабатываемого фонда диктуется также современными задачами по необходимости подбора сырьевой базы для производств по глубокой комплексной переработке торфа.

Представим общую характеристику торфяного фонда Гомельской области.

К обобщенной характеристике торфяного фонда области отнесем данные по степени изученности ресурсов. Детальной разведкой в области охвачено около 36 %, как и для большинства областей республики. Высокой долей этой разведки отличаются Житковичский, Жлобинский, Калинковичский, Хойникский и Брагинский

районы. Особенностью Гомельской области, отличающей ее от других, является незначительная доля предварительно разведанных запасов (около 13 %) и высокая доля поисковой разведки (более 44 %).

Современное состояние торфяного фонда характеризуется следующими данными.

Осушено (включая выработанные земли) 293,9 тыс. га, что составляет 58,2 % всего фонда, больше половины месторождений осушено открытой сетью каналов. Наибольшая площадь осущенных месторождений находится в Брагинском, Калинковичском, Светлогорском, Петриковском и Ельском районах. В естественном состоянии сохранились месторождения во всех районах области, причем максимальной площадью таких объектов выделяется Лельчицкий (65,3 тыс. га), Брагинский (19,1), Житковичский (16,6), Петриковский (16 тыс. га), а незначительной – Гомельский, Кормянский и Лоевский рай-

оны. Наибольшее количество выработанных торфяных месторождений находится в Калинковичском, Хойникском, Рогачевском и Гомельском районах.

В сельскохозяйственном использовании в области числится 210,2 тыс. га. Распределение таких земель по районам неравномерное. Значительной долей используемых в сельском хозяйстве месторождений отличается Калинковичский (35,7 тыс. га), Светлогорский (23,6), Петриковский (21,9) и Ельский (16,9 тыс. га) районы.

Наиболее запесены торфяные месторождения в Лельчицком (8,1 тыс. га), Брагинском (8,0), Петриковском (6,5) и Октябрьском (5,9 тыс. га) районах, а всего торфяного фонда под лесом – 62,4 тыс. га, что составляет 12,4 %. Следует отметить, что значительная часть используемых земель также находятся в ведении лесохозяйственных учреждений.

В составе природоохранных территорий имеется 67,4 тыс. га торфяных месторождений, что составляет 13,3 % торфяного фонда. Большие площади торфяных месторождений области находятся в охраняемых природных территориях республиканского значения: это «Национальный парк «Припятский»» (Лельчицкий, Житковичский, Петриковский, Калинковичский и Хойникский районы – 38,1 тыс. га), «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» (Брагинский, Хойникский и Наровлянский районы – 11,2), биологический заказник «Букчанский» (Лельчицкий район – 10,7), биологические заказники «Бабинец» и «Медухово» (Октябрьский район – 0,9 тыс. т). В последние годы организован ряд заказников различного назначения, в области их насчитывается 14 с общей площадью 7850 га.

Часть торфяных месторождений после выработки торфа затоплена, водохранилища имеются в Жлобинском, Калинковичском, Лельчицком, Мозырском, Октябрьском и Светлогорском районах.

Распределение торфяных ресурсов области по общетехническим характеристикам позволяет ориентироваться в возможностях определения направлений их использования.

На рис. 1 представлены гистограммы распределения торфяных месторождений по характеристикам залежи, что позволяет сделать общие оценки торфяных ресурсов области. Максимальное количество торфяных месторождений области имеют незначительные площади (10–100 га), или 45,5 %. Отмечается достаточное количество средних по площади (интервал 101–500 га), или 24,2 %. Крупных месторождений (интервал 500 и более) – 1,2 %.

Основные запасы торфа области (рис. 1, б) сосредоточены в интервале до 100 тыс. т (67,6 %) и 100–500 тыс. т (18,3 %). Имеются также месторождения со значительными запасами:

интервал 5000–10 000 тыс. т – 8 месторождений; более 10 000 тыс. т – 13 месторождений.

Торфяные месторождения области нельзя отнести к мелкозалежным, хотя таковых с глубиной торфа до 1 м имеется 35,5 %. Преобладают месторождения с глубиной торфа в интервале 1–2 м, таковых в области 55,1 %. Глубокозалежных месторождений мало – с глубиной более 5 м имеется только два, рис. 1, в.

По степени разложения (рис. 1, г) максимальная доля торфяных месторождений приходится на интервал $R = 36\text{--}40\text{--}33,5\%$. Отметим, что определенная доля запасов имеет низкую степень разложения ($R \leq 20\%$) – 7,8 %. Такое сырье востребовано при производстве различных грунтов, подстилочных и изоляционных материалов, кормовых дрожжей при соответствующих ограничениях. Достаточная доля в области торфа с высокой степенью разложения (45 % и более) – около 10 %.

Распределение торфяных запасов по зольности (рис. 1, д) подчиняется логнормальному закону. Это свидетельствует о том, что низкозольных видов торфа ($A^c = 2\text{--}5\%$) имеется достаточное количество – порядка 7,5 %. Именно такие виды торфа являются пригодными для ряда альтернативных производств по глубокой переработке торфа. Основная масса запасов торфа приходится на интервал зольности $A^c = 10\text{--}15\text{--}31,1\%$. Отмечены определенные запасы высокозольных видов торфа (более 30 %) – 7,4 %, которые наиболее эффективны в качестве сельхозугодий.

Таким образом, в результате анализа перечня торфяных месторождений всех административных районов Гомельской области с учетом расширенного набора критериев выполнено их перераспределение и предложен новый состав целевых фондов (табл. 2, рис. 2). В целом по области предложено увеличить природоохранный фонд на 74,7 %, причем в ряде районов при существующем распределении он отсутствовал, а в предложенном варианте таковой появился во всех районах, причем значительные территории отведены для Добрушского, Ельского и Буда-Кошелевского районов. Увеличение природоохрannого фонда осуществлено в основном за счет обеспечения природоохранных зон и прибрежных полос водных объектов.

Разрабатываемый фонд в предложенном варианте по области в целом уменьшился относительно выделенного «Схемой ...» за счет площади выработанных месторождений за прошедшее время. Представленные запасы являются дополнительными новыми объектами. Пополнить разрабатываемый фонд удалось в Калинковичском, Октябрьском, Речицком и Петриковском районах, но это незначительное пополнение, так как многие месторождения радиационно загрязнены.

Пополнение природоохранного и разрабатываемого фондов предложено осуществить в основном за счет неиспользуемого и частично земельного фондов, к неиспользуемому отнесена территория Полесского радиационного заказника.

Предложенный вариант состава целевых фондов обеспечит торфодобывающие предприятия обоснованно выбранными для увеличения добычи продукции сырьевыми базами.

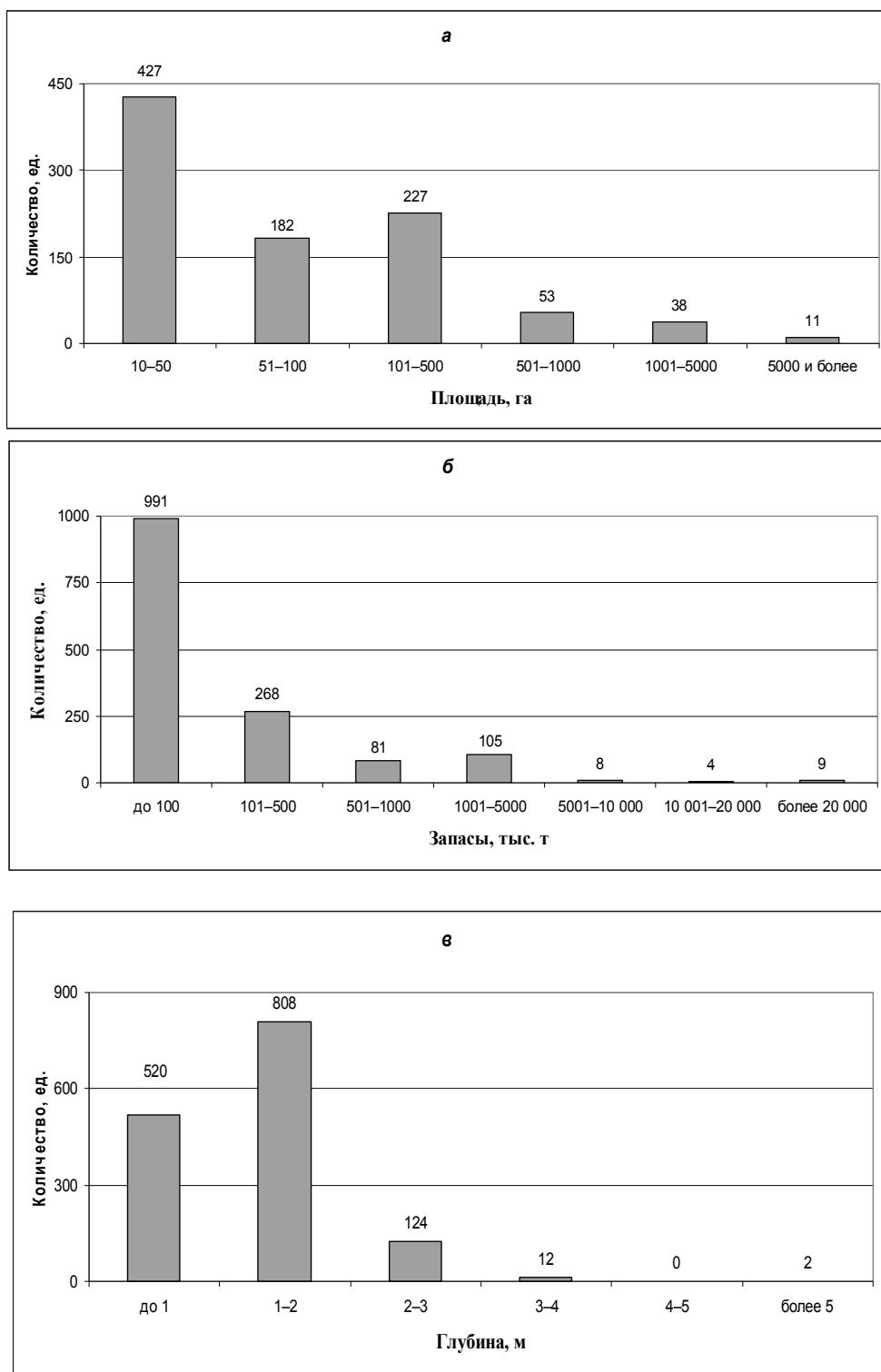
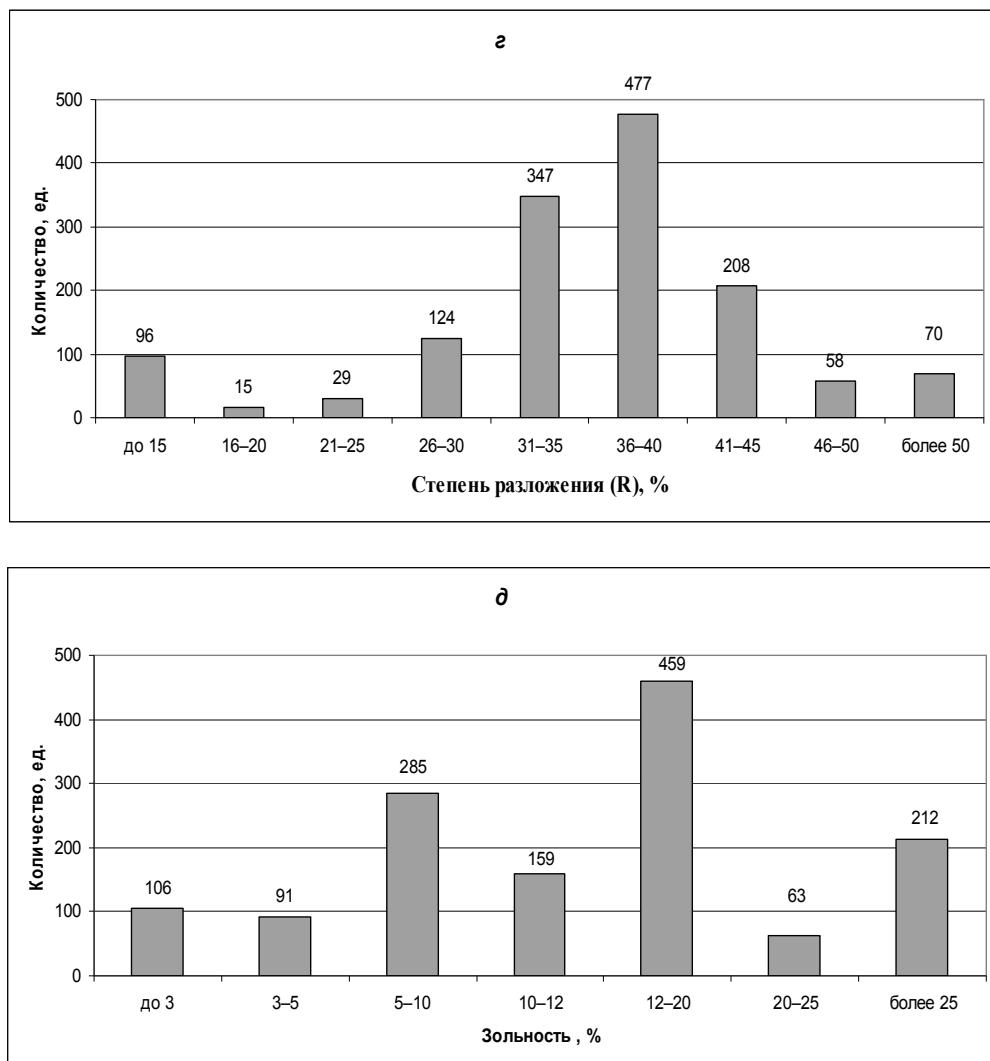


Рис. 1. Гистограммы распределения торфяного фонда Гомельской области по:
а – площади; б – запасам; в – глубине; г – степени разложения; д – зольности торфа



Окончание рис. 1



Рис. 2. Предлагаемое перераспределение запасов торфа по целевым фондам Гомельской области

Таблица 2. Предложения по перераспределению запасов торфа Гомельской области по целевым фондам

Район	Распределение запасов торфа по целевым фондам, тыс. т								
	Всего	существующее*				предлагаемое			
		природоох- ранный	разрабаты- ваемый	земельный	неисполь- зуемый	природоох- ранный	разрабаты- ваемый	земельный	неиспользуемый
Брагинский	68 390	36 844	420	30 384	742	9692	270	23 713	34 715
Буда-Кошелевский	8773	0	498	6809	1466	2167	213	3640	2753
Ветковский	9360	709	235	5260	3156	18	32	2152	7158
Гомельский	6160	0	92	5422	646	304	110	5446	300
Добрушский	8659	0	480	3490	4689	2499	154	2651	3355
Ельский	31 382	0	56	24 622	6704	1803	49	21 892	7638
Житковичский	39 962	13 188	9098	8553	9123	17 471	5130	9036	8325
Жлобинский	55 963	147	2966	41 253	11 597	4057	3310	38 140	10 456
Калинковичский	65 362	753	251	56 546	7812	12 256	530	42 908	9668
Кормянский	2282	805	127	1004	346	50	0	552	1680
Лельчицкий	189 467	94 089	0	36 384	58 994	122 179	2564	35 743	28 981
Лоевский	1595	0	0	1024	571	82	0	1224	289
Мозырский	5809	71	23	2370	3345	3489	59	2159	102
Наровлянский	1790	0	0	1412	378	106	0	1375	309
Октябрьский	44 046	2866	516	30 259	10 405	6866	1132	25 761	10 287
Петриковский	63 385	4497	407	39 216	19 265	5946	1286	38 329	17 824
Речицкий	33 806	0	490	23 267	10 049	210	1033	23 032	9531
Рогачевский	19 105	833	1513	9395	7364	3788	173	4418	10 726
Светлогорский	42 214	1060	725	30 666	9763	5339	1005	29 609	6261
Хойникский	48 077	7106	8133	23 140	9698	7241	944	39 809	83
Чечерский	10 127	1318	490	7255	1064	223	0	3334	6570
ВСЕГО:	755 714	164 286	26 520	387 731	177 177	205 786	17 994	354 923	177 011

* По состоянию на 1990 г.

Литература

1. Айвазян, С. А. Прикладная статистика : справ. изд. / С. А. Айвазян [и др.]. М., 1989.
2. Гаврильчик, А. П. О функции элементов торфяных месторождений в природе / А. П. Гаврильчик [и др.] // Природопользование. 2008. Вып. 14. Минск, 2008. С. 158–160.
3. Государственная программа «Торф» на 2008-2010 годы и на период до 2020 года. Минск, 2008.
4. Колесин, В. Н. Новые виды продукции на основе торфа / В. Н. Колесин [и др.] // Торфяная промышленность. 1976. № 8. С. 11–14.
5. Колесин, В. Н. Научно-исследовательские работы по комплексному использованию торфа / В. Н. Колесин // Торфяная промышленность. 1974. № 11. С. 5–9.
6. Комплексное использование торфа. М., 1965.
7. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433.
8. Лиштван, И. И. Проблемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов в БССР / И. И. Лиштван. Об-во «Знание». Минск, 1985.
9. Лиштван, И. И. Состояние и перспективы комплексного использования торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве Белоруссии : экспресс-информация / И. И. Лиштван. Минск, 1997.
10. Лиштван, И. И., Король, Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1975.
11. Новые процессы и продукты переработки торфа. Минск, 1982.
12. Паплаускас, Л. И. Новое в комплексном использовании торфяных месторождений и производстве торфяной продукции в Литовской ССР / Л. И. Паплаускас // Торфяная промышленность. 1974. № 11. С. 11–14.
13. Передовой опыт комплексного использования торфа. Обмен опытом. Минск, 1972.
14. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, от 26 декабря 2006 г. № 1726 «Об утверждении плана мероприятий по использованию в Республике местных топливно-энергетических ресурсов».
15. Протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь о ходе выполнения Государственной программы «Торф» на 2008-2010 годы и на период до 2020 года от 21 апреля 2009. № 13.
16. Радзевич, Л. Ф. Торфяной фонд Белорусской ССР и основные направления его охраны и рационального использования : обзорная информ. / Л. Ф. Радзевич. Минск, 1991.
17. Раковский, В. Е., Пигулевская, Л. В. Химия и генезис торфа / В. Е. Раковский, Л. В. Пигулевская. М., 1978.
18. Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР (Брестская, Витебская, Гомельская, Гродненская, Минская, Могилевская области) : справ. Минск, 1990.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 02.03.2012 г.

**А. П. Гаврильчик, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич, Т. И. Макаренко,
А. В. Осипов, С. Т. Мультан, Л. П. Калилец, Н. В. Шевченко**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ НОВЫХ ЗАДАЧ ИХ ОСВОЕНИЯ

Обоснованы новые подходы к вопросам использования торфяных ресурсов в современных реалиях развития экономики. Показана необходимость перераспределения торфяных месторождений республики по целевым фондам, приведены разработанные методический принципы такого перераспределения, включающие состав учитываемой информации. Приведены данные по предлагаемому распределению торфяных ресурсов Гомельской области.

**A. P. Gavrilchik, L. S. Lis, V. B. Kuntsevich, T. I. Makarenko,
A. V. Osipov, S. T. Multan, L. P. Kalilets, N. V. Shevchenko**

DISTRIBUTION OF PEAT RESOURCES OF GOMEL REGION BY TRENDS REGARDING NEW TASKS OF THEIR EXPLORATION

New approaches to the issues of peat resources exploitation in modern time of economy development have been substantiated. The necessity to redistribute peat deposits of the Republic by target funds has been shown, the developed methodical principles of such redistribution are given, including the composition of the accounted information. Data for the suggested peat resources redistribution of Gomel region have been provided.

А. В. Унукович¹, В. И. Зуй², П. Б. Цалко²

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В работе приведены результаты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов территории Беларуси, проанализированы возможности применения доходного метода, учитывающего будущие ожидания относительно инвестиций, текущих затрат и цен, включающих в себе рыночный аспект. Показатели экономической ценности геотермальных ресурсов определены в зависимости от глубины скважин, площади отапливаемых зданий и других объектов. Выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долл. США в расчете на 1 Гкал.

Геотермальная энергия представляет собой тепло, накопленное в горных породах и флюидах, насыщающих их поры, трещины или каверны (вода, рассолы, нефть, природный газ и др.). Геотермальную энергию используют путем отбора тепла из геотермальных горизонтов, при этом ее восполнение происходит естественным путем.

Геотермальные ресурсы – это один из немногих источников возобновляемой энергии, использование которой может осуществляться непрерывно. В отличие от неравномерного распределения месторождений нефти, газа и каменного угля геотермальная энергия имеется в любом месте планеты. По мере истощения традиционных видов топлива и роста расходов на его добывчу возрастает ее роль как возобновляемого подземного источника тепла.

Высокая зависимость Беларуси от импорта природного газа является особенностью экономики страны и отражается на затратах по выработке энергоресурсов, в частности – тепловой энергии. Это требует ускоренного освоения альтернативных видов возобновляемой энергии, в том числе и геотермальной.

Масштабы расходов традиционных топливных ресурсов на теплоснабжение жилищно-коммунальных и промышленных объектов велики. Они составляют более половины всего котельно-печного топлива. При этом эффективность котельных и печей по сравнению с ТЭЦ, где сжигается то же топливо, очень низка. Отопительные установки, использующие геотермальные ресурсы, могут значительно улучшить эффективность процесса получения тепла. Особен-но это относится к тем случаям, когда здания и сооружения различного назначения рассредоточены и находятся в сельской или пригородной местности, удалены от традиционных тепло-трасс.

В западных странах стимулом к массовому внедрению, например, тепловых насосов послужила череда энергетических кризисов 70-х – начала 80-х годов XX в. К 2010 г. прямое использование геотермальных ресурсов велось в 78 странах при суммарной инсталлированной мощности геотермальных установок до 50 ГВт. К 2015 г. ожидается увеличение выработки тепла до 250 ТВт/год. При этом теплоносными установками будет выработано около 30 % от этого количества [1]. Первые станции и установки по использованию ресурсов как с высокозентальпийной (температура флюида более 150–180 °C), так и с низкозентальпийной температурой подземных горизонтов (от 4 °C до 10–20 °C) геотермальной энергии показали достаточную рентабельность и в целом экономическую целесообразность дальнейшего расширения работ по использованию этого возобновляемого природного ресурса.

Низкозентальпийные геотермальные ресурсы. В последние годы в мире построены сотни тысяч, а по отдельным данным – более миллиона [1] геотермальных установок по использованию низкозентальпийных геотермальных ресурсов на базе тепловых насосов. При этом темпы прироста их установленной тепловой мощности заметно увеличились (в среднем около 12,2 % в год). Это достигнуто благодаря развитию рынка тепловых насосов в ряде стран мира, позволяющих эксплуатировать геотермальные горизонты даже с температурой менее 10 °C, что составляет около 50 % от используемой тепловой мощности геотермального потребления в настоящее время.

Тепловые насосы – экологически чистые и компактные устройства. В условиях удорожания топливных ресурсов, увеличения тарифов на электроэнергию и роста затрат на традиционные способы теплоснабжения они представляют аль-

тернативную технологию для отопления и горячего водоснабжения. Косвенно экономическая целесообразность использования низкоэнтальпийной геотермальной энергии подтверждается тем фактом, что в соседних и других странах количество тепла, получаемого при использовании геотермальных ресурсов, основанных на принципах тепловых насосов, неуклонно растет. Так, в Швеции используются 4460 МВт мощностей геотермальных установок, и они вырабатывают 12 584,6 ТВт·ч/год тепловой энергии, в Норвегии – 3,300 МВт и 7000,6 ТВт·ч/год соответственно [2]. В Швеции по состоянию на весну 2010 г. действовало около 230 тыс. геотермальных установок и около 25 тыс. новых вводится в работу ежегодно. Они вырабатывают около 12 ТВт/ч тепловой энергии, обеспечивая около 15 % потребности страны в тепловой энергии. В Норвегии общее количество геотермальных установок оценивается в 26 000 при инсталлированной тепловой мощности 3300 МВт. Более 90 % их них используют схему отбора тепла с помощью скважинных теплообменников без гидравлической связи с водоносными пластами. Около 350 крупных теплонасосных установок со скважинными теплообменниками используются для отопления больших объектов – общественных и промышленных зданий, а также многоквартирных домов. Одна из наиболее крупных геотермальных установок обеспечивает отопление госпиталя (137 000 м²) университета в Акерсусе (Akershus). Установка использует 228 скважин глубиной по 200 м со скважинными теплообменниками [2]. В Дании действуют около 20 тыс. геотермальных установок с общей установленной мощностью 200 МВт, они вырабатывают около 2500 ТДж тепловой энергии [3]. В Польше действует около 11 000 геотермальных установок и несколько крупных геотермальных станций общей тепловой мощностью 281,05 МВт при выработке тепла 1501,1 ТДж/год [4]. Наконец, в маленькой Эстонии действовало по состоянию на 2008 г. 4874 геотермальные установки с общей тепловой мощностью 63 МВт, при этом вырабатывалось около 98,9 ТВт·ч/год [5]. Температура в платформенном чехле Эстонии в целом ниже, чем в Беларуси. Аналогичную информацию можно привести также по другим странам Европы и мира в целом.

Объем выработанного тепла за счет использования геотермальных ресурсов эквивалентен ежегодной экономии 307,8 млн баррелей (46,2 млн т) нефти и предотвращает выброс в атмосферу 46,6 млн т углерода и 148,2 млн т углекислого газа [2]. Эти огромные цифры говорят о возможности экономии потребления сжигаемых видов топлива и о снижении при этом вклада от сжигания этого топлива в развитие парникового эффекта, приводящего к негативному изменению климата на планете.

Использование геотермальных ресурсов в Беларуси. На конец 2010 г. в Беларуси действовало около 100 геотермальных установок с инсталлированной мощностью около 5,5 МВт. Некоторые из них:

Геотермальная станция «Берестье» является пилотной экспериментальной станцией мощностью 1 МВт. На ней, по сути, отрабатывается технология строительства других подобных установок в республике. К отопительному сезону 2011/2012 г. она уже эксплуатировалась. В летнее время станция не используется. Для получения же экономических параметров необходима ее эксплуатация как минимум в течение одного года. Затраты на ее создание оцениваются в 4,3 млрд руб по состоянию на январь 2010 г. Согласно проекту срок окупаемости составляет 5,7 года. Она позволяет отапливать 1,5 га теплиц в течение года. Расчетная экономия природного газа – порядка 1 млн м³/год. За истекшее время использование в отладочном режиме геотермальной станции рентабельность производства составила 26,5 %. При сохранении этих параметров срок окупаемости может снизиться до 4,1 года.

Геотермальная установка пограничного и таможенного перехода Новая Рудня. Согласно информации Мозырской таможни по состоянию на весну 2008 г стоимость выработки 1 Гкал тепла этой установкой оценивалась в 90 тыс. руб. В этот же период газовые котельные Мозыря отпускали ее по цене 160 тыс. руб. за 1 Гкал. Экономический эффект от ее использования очевиден. Финансирование строительства установки выполнено из бюджета Союзного Государства (Российская Федерация – 70 %, Республика Беларусь – 30 %). Стоимость комплекта теплового насоса составила около 85 тыс. долл. США.

Экономика геотермального теплоснабжения по данным зарубежных стран. Методы экономической оценки использования низкоэнтальпийной геотермальной энергии для геологических и геотермических условий Беларуси не разработаны. Поэтому рассмотрим наиболее характерные примеры по данным зарубежных источников.

Производство энергии за счет использования подземного тепла, как и в случае использования природного газа, нефти, мазута, каменного угля, гидроэнергии и ядерных источников, является капиталоемким. В целом необходимы значительные первоначальные затраты перед получением дохода от продажи выработанной энергии. Поскольку транспортировка геотермального флюида на большие расстояния затруднена, то геотермальные горизонты могут быть эффективно использованы при наличии в непосредственной близости от них потребителей тепла. После освоения геотермального горизонта эксплуатационные затраты невысоки по сравнению со

стоимостью строительства геотермальной станции. Обычно считают, что такая составляющая, как стоимость «топлива», для геотермальной станции отсутствует, но она непременно присутствует в затратах при использовании углеводородного топлива.

Расходы на производство тепла за счет геотермальной энергии и стоимость бурения геотермальных скважин (при вертикальных схемах отбора подземного тепла) колеблются в значительной степени от одной страны к другой. Экономическая целесообразность использования подземного тепла в существенной степени зависит от изменяющихся цен на природный газ, каменный уголь, торфобрикеты, дрова и другие виды традиционного топлива, используемого для этих целей в каждой конкретной местности.

В настоящее время в соседних странах со

сходными геолого-геотермическими условиями действует ряд геотермальных установок. В некоторых случаях по ним опубликованы краткие технико-экономические данные, как правило, без детализации.

Сравнительный анализ стоимости производства тепловой энергии, получаемой за счет сжигания мазута, пропана, природного газа, использования электроэнергии и тепловых насосов, приведен в табл. 1. Представленные данные основаны на американском опыте эксплуатации геотермальных установок.

Из табл. 1 видно, что при прочих равных условиях стоимость тепловой энергии, выработанной посредством тепловых насосов, оказывается наиболее низкой, поскольку не требуется платить за подземное тепло.

Таблица 1. Сравнительные данные о стоимости тепла, выработанного за счет разных энергетических ресурсов

Источник получения тепла	Цена источника тепла	Стоимость, долл. за 10 КДж
Мазут	1,05 долл./галлон	9,55
Пропан	1,20 долл./галлон	16,72
Природный газ	0,60 долл./галлон	7,53
Электроэнергия	0,07 долл./КВт·ч	20,51
Тепловые насосы	—	6,18

Примечание. 1. Американский галлон = 3,78543 дм³. 2. Стоимость, приведенная в оригинале за 1 млн британских тепловых единиц (1 000 000 БТЕ = 9486 Дж), пересчитана на 10 КДж.

Практика развитых стран показывает, что использование возобновляемого ресурса – геотермальной энергии – экономически выгодно и не приводит к заметному загрязнению воздушного бассейна и окружающей среды в отличие от традиционных котельных, где при сжигании органических видов топлива происходит выброс в атмосферу парниковых газов, копоти и пыли. Имеет место значительная экономия природного газа. В приведенных цифрах не учтен экономический эффект от снижения выброса обычными котельными дымовых газов, загрязняющих атмосферу и приводящих к развитию парникового эффекта и возникновению кислотных дождей.

Затраты по разработке разделяют на две основные позиции – стоимость геотермальной станции и стоимость бурения и оборудования скважин (скважины). Для прямого использования термальных вод затраты на бурение скважин составляют порядка 10–50 % от стоимости всего проекта. В результате, затраты на геотермальный проект зависят от существующей структуры цен на буровые работы. В случае использования старых, ранее пробуренных для других целей скважин возможно снизить затраты на получение термальных вод из проектных горизонтов на 50–60 %.

Примеры затрат и экономика небольших отопительных систем. Приведем примеры за-

трат, основанных на зарубежном опыте, на создание отопительных систем на базе тепловых насосов. Стоимость строительства геотермального отопления стандартного жилого дома на одну семью для климатических условий Германии зависит от количества одновременно подключаемых домов и с их увеличением сокращается. Так, эксплуатационные расходы после монтажа системы значительно ниже по сравнению с традиционными системами отопления и при тепловой мощности геотермальной установки с тепловым насосом 14 кВт составляют в расчете: на 1 дом 35 000 евро; от 2 до 5 домов 25 000 евро в расчете на дом; более 6 домов 20 000 евро в расчете на дом.

По данным компании «Geotermische Vereinigung e.V.» (Германия) стоимость геотермальной системы со скважинным оборудованием, производящей тепло посредством теплового насоса 39,8 кВт, из которых 9,9 кВт – электропривод компрессора, составляет 28 000 евро. Ежегодные затраты составляют только 51 % по сравнению с отоплением природным газом.

Немецкие специалисты подсчитали сравнительные затраты при использовании газовой котельной и геотермальной установки для образовательного центра Schönmühl (Германия), которая приводится в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика расходов при использовании отопления (кондиционирования) за счет газовой котельной и при использовании геотермальной энергии

Наименование	Газовый котел	Геотермальная скважина
	Нужна холодная вода	Тепловой насос
Производство тепла	100 000 кВт·ч/год	100 000 кВт·ч/год
Потребность в газе (95 %)	10 526 м ³ /год	--
Цена газа (40 цент/м ³)	4210 евро/год	--
Потребление электроэнергии	--	25 000 кВт·ч/год
Цена электроэнергии (8 цент/ кВт·ч)	--	2000 евро/год
Плата за мощность	250 евро/год	60 евро/год
Сумма	4460 евро/год	2060 евро/год
Кондиционирование (холод)	30 000 кВт·ч/год	30 000 кВт·ч/год
Компрессор	10 000 кВт·ч/год электроэнергии	
Вентилятор	500 кВт·ч/год электроэнергии	
Расход на вспомогательный насос, насос (0,4 кВт)	400 кВт·ч/год электроэнергии	400 кВт·ч/год электроэнергии
Сумма	872 евро/год	32 евро/год
Всего	5 332 евро/год	2 092 евро/год

Следует отметить, что расходы на использование геотермальной энергии частично инвестируются правительством земли Бавария.

Стоимость энергии: цена газа 40 центов/м³; электроэнергии 8 центов/кВт·ч при используемой мощности на: отопление 50 кВт; охлаждение (кондиционирование) 30 кВт. Всего расход энергии 100 000 кВт·ч/год при использовании системы 2000 ч/год. Потребность в холода (кондиционирование): 30 000 кВт·ч /год при использовании системы 1000 ч/год. Тогда при использовании геотермальной энергии затраты на отопление (кондиционирование) составляют менее 50 % от затрат в случае использования газового котла.

По российским данным в Дагестане стоимость 1 Гкал геотермального тепла в 1,5–2 раза ниже, чем тепла, вырабатываемого котельными.

Кратко рассмотрим другой пример на усредненных показателях по данным компании Hütte Bohrtechnik GmbH (www.casagendegroup.com) при модернизации жилого дома:

Отапливаемая площадь 180 м², отопительная нагрузка 32,0 кВт/год, тепловой насос NIBE Fighter 1110-10 (Швеция), затраты 780 евро в год.

Приведем сравнение затрат при расходе тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение для дома на одну семью для вариантов использования теплонасосной установки и отопления жидким топливом/газом:

Установка на 25 000 кВт·ч (соответствует примерно 2500 литрам жидкого топлива или 2500 м³ природного газа) с зондами-теплообменниками и системой отопления в полу (батареи с рабочей температурой 50 °C).

Отопление жидким топливом/газом:

25 000 кВт × 4,6 цента за кВт =

Налог на газовый счетчик 15 евро в месяц

Расходы на чистку дымохода и техобслуживание

1 150 евро.

180 евро.

175 евро.

Всего 1 505 евро.

0,95 (95 % к.п.д. газового отопления)

1 584 евро.

Производственные затраты на отопление

Отопление тепловым насосом:

Установка такой же мощности на 25 000 кВт·ч с зондами-теплообменниками и системой отопления в полу (батареи с рабочей температурой 50 °C).

Теплонасосная установка 11,7 кВт и 2,5–3,0 кВт потребляемой электрической мощности.

Продолжительность работы теплового насоса для выработки 25 000 кВт·ч:

25 100 кВт·ч / 11,7 кВт = 2100 ч работы

Потребляемая электрическая мощность (показания счетчика):

2100 час × 3,0 кВт = 6300 кВт·ч

Потребление электроэнергии:

6300 кВт·ч × 10 центов/ кВт·ч по тарифу для теплового насоса = 630 евро

Налог на электросчетчик: 75 евро

Производственные затраты на тепловой насос: 705 евро

Экономия средств по сравнению с отоплением жидким топливом / газом 879 евро.

Использование подземного тепла, биомассы и гидроэнергии является, привлекательным не только экономически, но также делает значительный вклад в безопасность энергоснабжения и обеспечивает снижение выброса углекислого газа в атмосферу [6]. В Германии (§ 28 Закона о возобновляемой энергии) с 1 января 2012 г. установлен новый тариф 0,25 евро/кВт·ч на всю геотермальную энергию и 0,05 евро/кВт·ч за петротермальную энергию (тепло сухих горных пород) [6].

Явным свидетельством интереса к использованию низкоэнタルпийной геотермальной энергии является ожидаемый рост продаж тепловых насосов в США. Если в 2011 г. продано немногим менее 150 000 насосов, то ожидается, что к 2017 г. эта цифра поднимется до 326 000, а общая мощность таких геотермальных установок в мире возрастет на 179 % [6].

Экономическая оценка использования низкоэнталпийной геотермальной энергии в Беларуси. В Беларуси существующие геотермальные установки используют до настоящего времени только низкоэнталпийные (низкотемпературные) ресурсы геотермальной энергии. Одним из факторов, сдерживающих развитие геотермальной энергетики в стране, является отсутствие промышленного изготовления тепловых насосов и другого геотермического оборудования, а также отсутствие методики оценки экономических параметров использования подземного тепла, в том числе и оценки сроков окупаемости подобных проектов. Одновременно растет понимание того, что основными преимуществами использования подземного тепла перед другими видами энергии могут быть следующие: значительные ресурсы; возобновляемый вид энергии; использование геотермальной энергии не приводит к загрязнению окружающей среды и способствует снижению парникового эффекта; нет расхода традиционного топлива.

В современных условиях геотермальная энергия используется в стране в основном для отопления. В экономическом отношении для обеспечения потребностей в тепле малых и средних потребителей они могут конкурировать с использованием невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов [7].

По теплоносочным геотермальным установкам, эксплуатируемым на протяжении ряда лет в Беларуси, точные сведения экономического характера отсутствуют. Одной из причин этого является то, что их проектами не были предусмотрены приборы учета потребленной тепловыми насосами электроэнергии, с одной стороны, и количества выработанного тепла – с другой. Не всегда доступны сведения о реальных затратах, сделанных на закупку импортного геотермического оборудования, на монтаж, наладку и обслуживание этих установок. По коттеджному строительству такие данные, как правило, недоступны. Все это не по-

зволило выполнить расчеты количественных технико-экономических показателей по эксплуатируемым теплоносочным установкам.

На всей территории Беларуси выявлены геотермальные ресурсы [8, 9], однако наиболее благоприятным регионом для их использования является Припятский прогиб. Основным фактором, сдерживающим их использование, является высокая минерализация подземных рассолов.

Рассматривая тепловую энергию недр как полезное ископаемое необходимо определить его количественную, качественную, экономическую и социальную значимость. В связи с этим важной представляется разработка основной концепции для геотермальных ресурсов территории страны с точки зрения определения экономической оценки их использования. В качестве основного показателя, характеризующего геотермальный ресурсный потенциал определенной территории, применяется средняя плотность геотермальных ресурсов, выраженная в тоннах условного топлива (т.у.т.) в расчете на 1 м² территории. В мировой практике для расчета данного показателя применяется ряд методик [11, 12].

Методика оценки экономической эффективности использования геотермальной энергии в Беларуси. Экономическая ценность при использовании геотермальных ресурсов в условиях Беларуси определена как ожидаемая величина чистого дисконтированного дохода [13, 14], которую можно получить в результате использования этих ресурсов в течение 25 лет. При этом их стоимость рассчитана методами имитационного моделирования установки оборудования, бурения скважин и проведения монтажных работ, а также исходя из имеющегося практического опыта других стран (Западной и Восточной Европы, России, Украины и др.). Экономическое обоснование использования геотермальных ресурсов предполагает также изучение показателей технического и экономического потенциала с учетом имеющейся технической базы, экономической ситуации и задач по развитию использования геотермальной энергии.

Важны исследования по оценке технологических показателей, характеризующих процесс извлечения геотермального тепла из недр. Это относится к производительности геотермальных установок, планируемой потребности в тепле за месяц и отопительный период по годам использования, расходам на электроэнергию, обустройству территории, влиянию на экологическое состояние окружающей среды. Следовательно, экономическая оценка геотермальных ресурсов предполагает обоснование капитальных вложений и эксплуатационных (текущих) расходов, прогнозируемой стоимости тепла исходя из сложившихся цен на тепловую энергию на мировом рынке, показателей народнохозяйственной и коммерческой эффективности использования подземного тепла.

При определении объемов капитальных вложений и эксплуатационных затрат использовали данные, приведенные в литературных и других источниках. В состав капитальных вложений входит стоимость приобретения и установки тепловых насосов и другого оборудования, включая его закупку, бурения скважин и выполнение монтажных работ. Например, по данным компании AETNA Energiesysteme GmbH (г. Wildau, Германия), стоимость теплового насоса оценивается в среднем в 450–500 евро на каждый кВт тепловой мощности; стоимость скважинного теплообменника (СТО) из полиэтилена оценивается в 6–8 евро/м длины; цементаж скважины – от 6 до 15 евро/м; наземные подсоединения, колодцы, коллекторы от 10 до 20 евро/м скважинного теплообменника. Бурение скважин под СТО в Германии колеблется от 20 до 60 евро/м. Более низкая цена соответствует более низкому качеству работ, а более высокая – высокому качеству при сроке эксплуатации системы более 20 лет (письмо AETNA Energiesysteme от 26.03.2004).

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, объемы капитальных вложений по установке тепловых насосов колеблются в зависимости от размера отапливаемой площади зданий и глубины скважин. При глубине скважин до 25 м и размера здания по отапливаемой площади до 100 м² потребность в капитальных вложениях составляет 19 870 долл. США, а при глубине скважины 50 м и размере здания по отапливаемой площади 450–500 м² – 28 258 долл. США. При увеличении глубины скважин для отбора геотермальной энергии в 2 раза увеличивается потребность в капитальных вложениях на 22 %, что снижает соответственно экономическую эффективность используемого геотермального оборудования. При этом в стоимость установки тепловых насосов включаются расходы на проектно-изыскательские работы и проведение природоохранных мероприятий.

В состав эксплуатационных затрат включаются расходы, связанные с потреблением электроэнергии, и прочие текущие расходы на обслуживание и ремонт оборудования. Так, по данным табл. 3, стоимость эксплуатационных затрат в зависимости от размера отапливаемой площади здания составляет от 480 (475 + 5) до 2285 (2260 + 25) долл. США в год.

Расчет показателей экономической эффективности использования геотермальных ресурсов включает также определение годовой стоимости произведенного тепла (NSR), чистого потока реальных денег (чистой прибыли) (NCF), чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег (чистой дисконтированной прибыли) (NPV), индекса рентабельности капитальных вложений (PI), внутренней нормы рентабельности (IRR) и срока окупаемости капиталовложений (PP).

Стоимость произведенного тепла (товарной продукции) (NSR) рассчитана исходя из потребности в тепле за отопительный период (7 месяцев), тепловой мощности насосов и цены, сложившейся

на Европейском рынке (79,38 долл/Гкал) [13]. Так, стоимость тепла за отопительный период в зависимости от размера отапливаемой площади здания может изменяться от 1137 до 6076 долл. Приведены чистые потоки реальных денег, которые могут быть получены в течение 25 лет использования геотермальных ресурсов, а также указаны нынешняя стоимость (PV) этих потоков при предельной ставке освоения, равной 10 %, т. е. дисконтированные потоки реальных денег (NPV) при $r = 10\%$, могут изменяться в зависимости от размера отапливаемой площади в пределах 5963–4419 долл. США.

Следует также отметить, что при экономической оценке использования геотермальных ресурсов предусмотрены разовые инвестиции, поэтому для расчета чистой дисконтированной прибыли (NPV) при 10 % ставке дисконта использована следующая формула [13]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n NCF_t (1+r)^{-t} - I_0,$$

где I_0 – первоначальные капитальные вложения, которые осуществляются единовременно на момент начала освоения геотермальных ресурсов.

Индекс рентабельности инвестиций рассчитан по формуле:

$$PI_0 = \frac{NPV}{I_0}.$$

Абсолютная величина чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег зависит не только от количества используемого геотермального тепла для отопления, текущих затрат на обслуживание оборудования, но и от предельной ставки, или ставки дисконта, которая принимается в зависимости от риска использования этой энергии. При увеличении риска ставка дисконта может быть увеличена.

Точное значение нормы дисконта r , при котором NPV принимает нулевое значение, представляет собой внутреннюю норму прибыли (IRR), которая определена по формуле [13]:

$$IRR = r_1 + (r_2 - r_1) \frac{NPV_1}{NPV_1 + NPV_2}.$$

Период окупаемости капитальных вложений определен по оценке накопленной чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег и составляет по накопленному чистому доходу от 8,5 до 17,5 года в зависимости от размера отапливаемой площади здания (75–475 м²) и глубины скважин (25–50 м). При увеличении глубины скважин в 2 раза срок окупаемости капитальных вложений, естественно, увеличивается и составляет от 9,5 до 19,8 года соответственно. Минимальный срок окупаемости капитальных вложений, направленных на использование геотермальной энергии, наблюдается при малой глубине скважин (25 м).

Таблица 3. Экономическая оценка использования геотермальных ресурсов (прогноз на 25 лет)

Показатель	Единица измерения	Размер здания по отапливаемой площади, м ²									
		до 100	до 150	до 200	до 250	до 300	до 350	до 400	до 450	до 500	
Средний размер отапливаемой площади	м ²	75	125	175	225	275	325	375	425	475	
Потребность в тепле в месяц	Гкал	2,0468	3,1578	4,2688	5,3798	6,4908	7,6018	8,7128	9,8238	10,9348	
Потребность в тепле за отопительный период (7 месяцев)	Гкал	14,3276	22,1046	29,8816	37,6586	45,4356	53,2126	60,9896	68,7666	76,5436	
Тепловая мощность насосов	кВт	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	
Коэффициент преобразования тепла (СОР или КПД)	коэф.	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	
Глубина скважин	м	25	28	31	35	40	50	55	60	65	
Стоимость установки тепловых насосов (оборудование, бурение скважин и монтажные работы)	долл.	10 870	12 073	13 360	15 219	17 393	21 742	23 915	26 089	28 258	
Цена 1 Гкал	долл.	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	
Стоимость тепла за отопительный период	долл.	1137	1755	2372	2989	3607	4224	4841	5459	6076	
Годовые текущие расходы на электроэнергию	долл.	475	712	949	1130	1356	1592	1808	2034	2260	
Годовые прочие текущие расходы	долл.	5	8	11	13	15	18	20	23	25	
Годовая амортизация	долл.	435	483	534	609	696	870	957	1044	1130	
Годовая балансовая прибыль	долл.	222	552	878	1237	1540	1744	2056	2358	2661	
Годовой чистый доход	долл.	657	1035	1412	1846	2236	2614	3013	3402	3791	
Накопленный чистый доход (за 25 лет)	долл.	5555	13 802	21 940	30 931	38 507	43 608	51 410	58 961	66 517	
Чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	5963	9395	12 817	16 756	20 296	23 727	27 348	30 879	34 410	
Накопленный чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	-4907	-2679	-544	1537	2903	1985	3433	4790	6152	
Индекс рентабельности инвестиций	%	0,55	0,78	0,96	1,10	1,17	1,09	1,14	1,18	1,22	
Срок окупаемости:											
по накопленному чистому доходу	год	17,54	12,66	10,46	9,24	8,78	9,32	8,94	8,67	8,45	
по накопленному чистому дисконтированному доходу	год	> 26	> 26	> 26	19,26	16,79	19,71	17,57	16,29	15,36	
Внутренняя норма доходности	%	4,04	7,31	9,60	11,59	12,48	11,45	12,18	12,69	13,11	
Годовая экономия традиционных топливных ресурсов (в среднем)	долл.	282	436	589	742	900	1049	1202	1355	1508	
Годовой чистый доход	долл.	939	1471	2001	2588	3136	3663	4215	4757	5299	
Накопленный чистый доход (за 25 лет)	долл.	12 605	24 702	36 665	49 481	61 007	69 833	81 460	92 836	104 217	
Чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	8523	13 352	18 163	23 491	28 465	33 248	38 259	43 178	48 098	
Накопленный чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	-2347	1279	4803	8272	11 072	11 506	14 344	17 089	19 840	
Индекс рентабельности инвестиций	%	0,78	1,11	1,36	1,54	1,64	1,53	1,60	1,66	1,70	
Срок окупаемости:											
по накопленному чистому доходу	год	12,58	9,21	7,68	6,88	6,55	6,94	6,67	6,48	6,33	
по накопленному чистому дисконтированному доходу	год	> 26	19,04	12,57	10,32	9,50	10,46	9,80	9,35	9,00	
Внутренняя норма доходности	%	7,40	11,66	14,59	16,92	18,03	16,74	17,61	18,23	18,73	

Эффективность использования геотермальных ресурсов определена на основе расчетных данных и при условии, что геотермальная энергия будет использоваться для теплоснабжения отдельных зданий. Вместе с тем следует отметить, что указанные расчеты выполнены на основе стартовых капитальных и эксплуатационных затрат на геотермальные установки для теплоснабжения без учета экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов, расходуемых при обычном отоплении от котельных. Заметим, что, по оценке авторов, для получения тепла, равного 1 Гкал, необходимо использовать, например, 1,228 м³ древесного топлива либо 0,517 т торфяного брикета, либо 0,278 т бурого угля, либо 0,143 т каменного угля, либо 86,5 м³ природного газа. Таким образом, при сложив-

шихся ценах на рынке экономия от указанных видов топлива при замене их геотермальной энергией составит в среднем 19,707 долл. в расчете на 1 Гкал. Например, при отапливаемой площади здания 75 м² и потребности тепла за отапливаемый период в 14,3276 Гкал использование геотермальных ресурсов обеспечит экономию традиционных топливных ресурсов на сумму 282 долл. За 25 лет эксплуатации геотермальной установки в зависимости от размера отапливаемой площади здания (от 75 до 475 м²) экономия может колебаться от 7050 (14,3276 × 19,707 × 25) до 37 711 (75,5436 × 19,707 × 25) долл. за отопительный сезон. Учет экономии традиционных видов топлива значительно повышает экономическую эффективность использования геотермальных ресурсов территории (табл. 3 и 4).

Таблица 4. Экономическая эффективность использования геотермальных ресурсов в зависимости от глубины скважин и с учетом экономии традиционных видов топлива

Показатель	Единица измерения	Глубина скважин, м			
		25	50	75	110
Отапливаемая площадь 125 м ² :					
инвестиции	долл.	12 073	13 753	15 373	17 668
накопленный чистый доход	долл.	24 702	23 022	21 402	19 107
накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	1279	-401	-2021	-4316
внутренняя норма доходности	%	11,66	9,72	8,57	6,95
индекс рентабельности инвестиций	коэф.	1,11	0,97	8,57	6,95
срок окупаемости инвестиций:					
по накопленному чистому доходу	год	9,2	10,4	11,5	13,0
по накопленному чистому дисконтированному доходу	год	19,0	> 25	> 25	> 25
Отапливаемая площадь 225 м ² :					
инвестиции	долл.	15 219	17 319	19 419	22 302
накопленный чистый доход	долл.	49 481	47 381	45 281	42 398
накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	8272	6172	4072	1189
внутренняя норма доходности	%	16,92	14,56	13,01	10,88
индекс рентабельности инвестиций	коэф.	1,54	1,36	1,21	1,05
срок окупаемости инвестиций:					
по накопленному чистому доходу	год	6,9	7,7	8,5	9,6
по накопленному чистому дисконтированному доходу	год	10,3	12,6	15,6	21,8
Отапливаемая площадь 475 м ² :					
инвестиции	долл.	28 258	32 158	36 058	41 408
накопленный чистый доход	долл.	104 217	100 317	96 417	91 067
накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	19 840	15 940	12 040	6690
внутренняя норма доходности	%	18,73	16,30	14,35	12,42
индекс рентабельности инвестиций	коэф.	1,70	1,50	1,33	1,16
срок окупаемости инвестиций:					
по накопленному чистому доходу	год	6,3	7,1	7,8	8,8
по накопленному чистому дисконтированному доходу	год	9,0	10,8	13,0	17,0

Таким образом, выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций нахо-

дится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долл. США в расчете на 1 Гкал.

Вместе с тем отмечаем, что каждый объект освоения геотермальной энергии требует пред-

варительного более конкретного исследования геолого-геотермических условий и экономического обоснования в пределах каждого региона.

Важным моментом является поиск инвесторов для финансирования строительства новых геотермальных установок. Практика показывает, что в странах, где успешно ведутся работы по освоению геотермальной энергии, созданы специализированные организации по обеспечению всего комплекса проектно-изыскательских, строительных и эксплуатационных работ. Они также занимаются и поиском инвесторов при активной поддержке государственных органов управления. Так, в Польше созданы акционерные общества *Geotermia Mazowiecka*, *Geotermia Podhalianska*, *Geotermia Unejow* [10]. В Литве действует самостоятельная организация «*Geoterna*», а также частная компания «*Thermia*». Первая из них владеет Клайпедской геотермальной станцией, а вторая занимается обоснованием, проектированием, монтированием геотермальных систем с использованием тепловых насосов для небольших потребителей (коттеджи, частные дома и т. п.). Необходима разработка соответствующих нормативно-правовых актов, относящихся к стимулированию использования геотермальной энергии в стране.

Практика многих стран показывает, что использование возобновляемого ресурса – геотермальной энергии – экономически выгодно, удашевляет почти вдвое выработку тепловой энергии, что снижает использование традиционных видов топливных ресурсов. Нужны соответствующие научные проработки и для условий Беларуси.

Выводы. Выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долл. США в расчете на 1 Гкал.

Вместе с тем отметим, что каждый конкретный объект освоения геотермальной энергии требует предварительного более детального исследования условий залегания геотермальных ресурсов и экономического обоснования в пределах каждого региона.

Литература

1. Дядькин, Ю. Д. Геотермальные ресурсы СССР / Ю. Д. Дядькин. М., 1991. С. 168–176.
2. Зуй, В. И., Грибик, Я. Г. Геотермальные ресурсы Беларуси и их использование / В. И. Зуй, Я. Г. Грибик // Энергетическая стратегия. 2010. № 8. С. 35–39.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М., 2000.
4. Правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых / Технический кодекс уставновившейся практики. Минск, 2008. С. 27.
5. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П. П. Безруких [и др.] М., 2002.
6. Allan Mahler and Jesper Magtengaard Country Update Report for Denmark / Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010. International Geothermal Association 2010. Editor R. Horne. 9 p.
7. Anonymous. The voice of geothermal energy in Europe / EGEC News. 2011. № 15. Р. 2–3.
8. Balcer, M. Infrastruktura techniczna zakladu geotermalnego w Mszczonowie / M. Balcer / Miedzynarodowe seminarium na temat: Rola energii geotermalnej w zrywnowazonym rozwoju regionow Mazowieckiego i Lodzkiego. Osuchy 4–6 pazdziernika 2000 г. Krakow, 2000. Р. 107–114.
9. EurObserv'ER: Barometre Pompes A Chaleur Heat Pump Barometer // Systemes Solaires le journal des energies renouvelables. 2009. N 193.
10. Geothermal Energy / B. G. Goldstein [et al.] / In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1544 p.
11. Kępińska, B. Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2005–2009 / B. Kępińska / Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010. International Geothermal Association 2010. Editor R. Horne. 8 p.
12. Lund, J. W., Freeston, D. H., Boyd, T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review / J. W. Lund, D. H. Freeston, T. L. Boyd / Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010. International Geothermal Association 2010. Editor R. Horne. 23 p.
13. Zui, V. I. Geothermal Resources and their Utilization in Belarus / V. I. Zui // Литосфера. 2010. № 1(32). С. 116–127.

¹Институт природопользования НАН Беларуси,

²Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт

А. В. Унукович, В. И. Зуй, П. Б. Цалко

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

В работе приведены результаты экономической эффективности использования геотермальных ресурсов территории Беларуси. Проанализированы возможности применения доходного метода, учитывающего будущие ожидания относительно инвестиций, текущих затрат и цен, включающих в себе рыночный аспект. Показатели экономической ценности геотермальных ресурсов определены в зависимости от глубины скважин, площади зданий и других объектов. Полученные результаты предназначены для экономического обоснования использования геотермальных ресурсов применительно к конкретным объектам. Выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долл. США в расчете на 1 Гкал.

A. V. Unukovich, V. I. Zui, P. B. Tsalko

COST-EFFECTIVE USE OF GEOTHERMAL RESOURCES IN BELARUS

This paper presents the results of cost-effectiveness of geothermal resources in Belarus, in this context are analyzed the possibility of using the income method, taking into account future expectations concerning investments, operating costs and prices, including a market perspective. Indicators of the economic value of geothermal resources are defined depending on the depth of wells and area of buildings and other facilities. The results obtained may be used for feasibility study of geothermal resources in relation to specific projects. Calculations of economic effectiveness to use geothermal resources in Belarus evidence that investment of money into their utilization could result in a payback from the point of view both the net effective income and the net present value. The recoupm ent of a capital investment value closely depends on borehole depths and heated areas. Geothermal energy utilization provides economy of traditional fuels in 20 USD per a Giga-calorie on the average.

УДК 622.331(476)

Л. С. Лис, Н. А. Кот, В. Б. Кунцевич

О НЕОБХОДИМЫХ ДОПОЛНЕНИЯХ К КАДАСТРОВОМУ СПРАВОЧНИКУ «ТОРФЯНОЙ ФОНД БЕЛОРУССКОЙ ССР»

Приведены данные по количеству торфяных месторождений из кадастрового справочника, для которых отсутствуют показатели степени разложения и зольности. Обосновывается важность восполнения отсутствующих данных для решения задач по работе с торфяным фондом и предлагаются подходы к оценке недостающих характеристик. Приведены значения зольности и степени разложения торфа для ряда месторождений Витебской области.

Кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР» (книги по областям) составлен по состоянию на 01.01.1978 г. В него включены детально, предварительно и поисково разведанные торфяные месторождения площадью от 1 га и выше в границах промышленной глубины залежи 0,5–0,7 м. В справочнике по каждому торфяному месторождению приведены общетехнические характеристики: тип, степень разложения, зольность, пнистость, площадь в нулевых границах, в границах промышленной глубины торфяной залежи, запасы, максимальная и средняя глубины торфа. Кроме того, обозначено местоположение месторождения, характер осушения, пользователь, вид и год разведки.

Приведенные в кадастровом справочнике данные отнесены к государственным национальным запасам и имеют существенное значение при выборе направлений использования ресурсов торфа каждого конкретного месторождения, а также при подборе сырьевых баз для различных производств.

Однако практическая работа с кадастровым справочником показала, что в некоторых книгах справочника отсутствуют данные по степени разложения и зольности ряда месторождений. Это касается четырех областей из шести: Витебской, Гомельской, Минской и Могилевской.

В табл. 1 приведены количество и площади торфяных месторождений, для которых отсутствуют отмеченные показатели (учтены только объекты площадью более 50 га).

Таблица 1. Количество и площадь торфяных месторождений, для которых отсутствуют данные по степени разложения и зольности торфа

Область	Количество месторождений	Площадь в границах промышленной глубины залежи, га
Витебская	41	17573
Гомельская	48	24277
Минская	39	44573
Могилевская	30	8983
Всего	158	95406

Приведенные данные показывают, что на торфяных месторождениях, для которых отсутствуют данные по степени разложения и зольно-

сти, сосредоточены определенные запасы торфа, составляющие по площади около 1 % всего фонда. При решении различных задач по практическому использованию торфяных месторождений не учитывать указанные объекты совершенно необоснованно, а их учет из-за отсутствия необходимых данных становится затруднительным. Получение необходимых данных путем полевых изысканий из-за больших затрат нецелесообразно.

С другой стороны, отмеченные характеристики торфа – степень разложения и зольность – являются важнейшими, определяющими потребительские свойства этого природного ресурса.

Степень разложения торфа используется при определении ряда параметров технологических процессов добычи и переработки торфа. Этот параметр характеризует значения возможных выходов компонентов и химических веществ из торфа. Он определяет плотность торфа, теплотворную способность, содержание битумов, гуминовых кислот, водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, а также содержание углерода и кислорода.

В естественных условиях в залежи степень разложения торфа изменяется в больших пределах: низинные и переходные типы торфа – 10–70 %, верховые – 5–80 %. Однако указанные пределы не дают значимых различий по типам торфа, поэтому в практических задачах установить величину степени разложения от типа торфа затруднительно. На основании данных [1] по наиболее часто встречающимся (представительным) видам торфа нами были рассчитаны средневзвешенные значения степени разложения и зольности (табл. 2) для трех типов залежей.

Полученные результаты свидетельствуют, что в данном случае отмечаются значимые различия по типам залежей, особенно четко это прослеживается по показателю зольности.

Содержание в торфе минеральных веществ (зольность) является показателем, достаточно четко дифференцированным по типам торфа. Наиболее часто встречающиеся диапазоны зольности: низинные виды торфа – 6–18 %, переходные – 4–6 % и верховые виды – 2–4 %. В пределах видов торфа зольность уменьшается от древесных групп к травяным и моховым. Зольность торфа является одним из основных

показателей пригодности этого сырья к различным направлениям использования. Значение $A^c = 50\%$ является условной границей между категориями торф и грунт, граница $A^c \geq 23\%$ относится к браковочному порогу пригодности для топливных целей, а для многоцелевой продукции комплексной глубокой переработки торфа ограничительными выступают значения $A^c 10, 5$ и 3% [2].

Таблица 2. Средневзвешенные значения степени разложения и зольности по наиболее часто встречающимся видам торфа

Тип залежи	Количество учтенных месторождений	Средневзвешенные значения	
		степень разложения	зольность
Низинный	501	37,9	9,3
Переходный	182	35,6	3,3
Верховой	334	31,8	2,8

Следует отметить, что в нормально зольных видах торфа минеральные компоненты находятся в виде сложных соединений с органическими веществами. В связи с этим отмечается положительная взаимосвязь зольности с содержанием оксидов кремния, кальция, железа, алюминия, серы. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что отмечаются корреляционные связи между зольностью и физико-химическими свойствами торфа [3].

На основании накопленного статистического материала по составу и характеристикам различных видов торфа разработаны подходы по расчету ряда показателей торфа на основании установленных корреляционных связей между

характеристиками торфяного сырья. Полученные результаты в таких расчетах вполне достаточны по точности для технических целей. В используемых уравнениях регрессии в качестве функции выступают показатели элементного и группового химического состава торфа, состава золы, физико-химических свойств, а в качестве аргументов в большинстве случаев используются степень разложения, зольность и кислотность.

Таким образом, степень разложения и зольность торфа являются важнейшими универсальными характеристиками этого природного ресурса, и восстановление этих параметров для отмеченных выше месторождений является важной задачей для торфяного фонда республики.

Эта работа выполнена экспериментально с использованием следующих методических подходов. По топографической карте местности для анализируемого торфяного месторождения на ближайшем расстоянии подбиралось месторождение аналогичного типа с известными характеристиками. При этом исходили из условия, что выбранное месторождение по рельефу и высотному расположению должно соответствовать анализируемому объекту. В случае сходства перечисленных показателей для рассматриваемого торфяного месторождения степень разложения и зольность принимались по его аналогу. Дополнительно учитывались гидрологические условия и современное состояние сравниваемых объектов.

Для повышения достоверности полученных оценок также учитывались преобладающий вид или группа торфа анализируемого месторождения. Решение этого вопроса осуществлено с использованием данных [1], систематизированных в табл. 3.

Таблица 3. Типы и группы торфяных залежей в зависимости от геоморфологических условий залегания

Геоморфологическая классификация торфяных месторождений	Тип торфяной залежи	Группа торфяной залежи
Торфяные месторождения водораздельного залегания		
Котловин	Верховой	Травяная, травяно-моховая, древесно-травяная
	Низинный	Травяная, травяно-моховая, древесно-травяная
Междуречных впадин	Верховой	Древесно-моховая, травяная, травяно-моховая
Моренных равнин	Верховой	Травяно-моховая, травяная, древесно-травяная
Крупных равнин Полесья	Низинный	Травяная, травяно-моховая, древесно-травяная
Торфяные месторождения древних террас		
Надпойменных террас	Низинный	Древесная, древесно-травяная
Староречий	Низинный	Травяно-моховая, травяная, древесно-травяная
Пойменные торфяные месторождения		
Собственно пойменные	Низинный	Травяная, древесно-травяная
Пойменно-притеческие	Низинный	Травяно-моховая, моховая, травяная, древесно-травяная
Пойм проточных долин	Низинный	Травяная, травяно-моховая, древесно-травяная

Установление геоморфологического статуса по категориям и группам торфяных месторождений осуществляется на основании анализа положения торфяного месторождения на местности, а также с учетом его площади и конфигурации [4]. Например, значениями 100–800 га ог-

раничиваются водораздельные котловинные торфяные месторождения, несколько больше площади пойменных месторождений – до 5 тыс. га. Месторождения террасного залегания, староречий, крупных равнин характеризуются площадями 15–20 и более тыс. га.

Пойменные и месторождения староречий имеют вытянутую конфигурацию.

Торфяные месторождения замкнутых котловин, междуречных впадин, пойменно-притеческие, как правило, низкозольные (3–6 %), а пойменные, проточных долин, староречий имеют более широкий диапазон зольности – 6–18 % [1].

Первоначальным ориентирующим признаком геоморфологической категории месторождения является его тип. Водораздельные месторождения представлены преимущественно верховым типом залежи, пойменные и древних террас – низинным. Преобладающие виды торфяных залежей дифференцированы в основном по геоморфологическим группам указанных категорий, количество которых (групп) нами уменьшено

за счет объединений, а также с позиций возможности установления по карте рельефа местности расположения торфяного месторождения. Установление групповой принадлежности анализируемого объекта позволяет более достоверно оценить значения показателей R и A^c с учетом установленных пределов их изменений (табл. 4), которые хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными для условий России [3].

Таким образом, с учетом разработанных методических подходов по всем упомянутым выше месторождениям были определены недостающие значения степени разложения и зольности. Данные с полученными оценками для месторождений Витебской области представлены в табл. 5.

Таблица 4. Пределы изменения степени разложения и зольности различных групп торфяных залежей

Группа торфяных залежей	Пределы изменения степени разложения (R) и зольности (A^c) торфа			
	НИЗИННЫЙ ТИП		ВЕРХОВОЙ ТИП	
	R , %	A^c , %	R , %	A^c , %
Моховая	18–21	6,0	12–22	2,2
Травяно-моховая	21–26	5,8–6,1	20–32	2,2–3,0
Травяная	26–31	6,1–7,3	33–38	3,0–3,5
Древесно-моховая	31–37	7,3–8,2	38–45	3,5
Древесно-травяная	37–43	8,2–8,6	45–53	2,9–3,4
Древесная	43–48	8,6–8,9	53–57	3,4–4,0

Таблица 5. Перечень торфяных месторождений Витебской области, по которым экспертным путем установлены отсутствующие значения степени разложения (R) и зольности (A^c)

Кадастровый номер	Торфяное месторождение	Административный район	Площадь в границах промышленной глубины залежи	Качественная характеристика торфяной залежи		
				типа торфа	R , %	A^c , %
29	Большой Мох	Россонский	502	В	25	2,6
230	В пойме р. Студеница	-«-	347	Н	34	8,2
272	Потоки	Полоцкий	1708	В	25	2,7
275	В пойме р. Полота	-«-	1253	Н	31	11,0
276	В пойме р. Недружно	-«-	478	Н	34	7,6
280	В пойме р. Жиридово	-«-	673	Н	31	7,3
281	В пойме р. Полота	-«-	75	В	23	2,4
289	Званное	-«-	183	Н	34	7,9
307	В пойме р. Червятка	-«-	1001	Н	32	10,8
316	В пойме р. Сосница	-«-	2275	Н	27	7,2
319	При стеклозаводе «Труды»	-«-	196	В	20	3,0
331	Городище	-«-	165	Н	33	8,9
342	Головец	-«-	175	Н	32	7,8
367	Валван	-«-	115	Н	36	10,1
405	Великий Мох	-«-	76	Н	40	11,2
580	В пойме р. Свина	Шумилинский	247	Н	36	15,0
500	В пойме р. Оболь	Городокский	462	Н	35	8,1
526	Степановский Мох	-«-	100	Н	37	8,7
536	Поповский Мох	-«-	352	П	30	3,8
550	Темная Насыпь	-«-	116	Н	36	9,5
826	Болото	Ушачский	200	Н	31	10,4
835	В пойме р. Выдрица	-«-	1252	Н	31	8,6
836	Березовое	-«-	355	Н	36	11,4
837	Липновское	-«-	415	Н	34	9,1
847	Белтовка	-«-	500	Н	39	9,4
850	Вецловское	-«-	203	Н	35	8,7
886	Решетово	Лепельский	100	Н	31	9,8
1074	В пойме р. Лукомка	Чашникский	533	Н	30	9,4
1075	Обрубы Чистик	-«-	1284	Н	34	11,7

Окончание табл. 5

Кадастровый номер	Торфяное месторождение	Административный район	Площадь в границах промышленной глубины залежи	Качественная характеристика торфяной залежи		
				тип торфа	R, %	A ^c , %
1196	В пойме р. Черниченка	Бешенковичский	91	H	38	8,5
1197	Красный Мох	-«-	220	H	36	7,9
1080	Страшный Мох	Витебский	200	H	34	18
1086	Коротинский Мох	-«-	400	H	37	7,8
1210	Городненский Мох	-«-	364	B	25	2,8
1222	В пойме р. Черниченка,	-«-	124	H	32	11,9
1233	Пероликовский Мох	-«-	250	H	29	16,6
1395	Точный Мох	Лиозненский	156	H	37	9,2
1679	Максимово	Толочинский	96	B	26	2,3
1721	Обухово	Оршанский	80	H	39	23,4

Определение отсутствующих характеристик большого количества торфяных месторождений следует отнести к достаточно актуальной задаче в области использования местных ресурсов. Полученные данные, по нашему мнению, достаточно приемлемы по достоверности для

выполнения анализов торфяного фонда при решении различных задач по выбору сырьевых баз. Уточнение этих данных будет выполнено при разработке проектов конкретных производств. Такое дополнение готовится авторами к изанию.

Литература

1. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Беларуси / А. П. Пидопличко. Минск, 1961.
2. Гаврильчик, А. П. Направления эффективного использования торфяных ресурсов Гродненской области / А. П. Гаврильчик [и др.] // Природопользование. Минск, 2010. Вып. 18. С. 192–199.
3. Лиштван, И. И., Король, Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1975.
4. Смеловский, В. Е. Выработанные торфяные месторождения и их использование / В. Е. Смеловский. Минск, 1988.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.03.2012

Л. С. Лис, Н. А. Кот, В. Б. Кунцевич

**О НЕОБХОДИМЫХ ДОПОЛНЕНИЯХ К КАДАСТРОВОМУ СПРАВОЧНИКУ
«ТОРФЯНОЙ ФОНД БЕЛАРУССКОЙ ССР»**

Для установления недостающих в кадастровом справочнике показателей степени разложения и зольности некоторых торфяных месторождений Республики Беларусь предложен методический прием, состоящий в сопоставлении этих показателей с таковыми аналога и учете установленных для типов торфа интервалов их измерения для наиболее распространенных видов залежей на территории республики. Аналогичные торфяные месторождения выбираются по принципу территориальной близости и сходства геоморфологических (рельефных) характеристик. Учитываются также площадные характеристики и конфигурация объектов в плане.

L. S. Lis, N. A. Kot, V. B. Kuntsevich

**ON NECESSARY AMENDMENTS TO THE CADASTRE DIRECTORY
«THE PEAT FUND OF BELARUSSIAN SSR»**

To establish the missing in the cadastre directory indices of decomposition and ash content degree of some peat deposits of the Republic of Belarus a methodical instrument consisting of the comparing these indices with those of the analog and account of the set for peat types intervals of their measurement for more wide-spread types of deposits in the republic's territory has been proposed. The peat deposits by analogy are chosen regarding the principle of territorial closeness and similarity of geo-morphological (relief) characteristics. The area characteristics and sites configuration in the plan are also considered.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 676.088:631.879.3 (476)

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Януга, Г. С. Монич,
Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова**

ОТХОДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И УТИЛИЗАЦИЯ ИХ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ. ЧАСТЬ I.

Проанализированы состав, свойства и пути утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности. Показано, что оправданным направлением утилизации отходов РУП «Завод газетной бумаги» является применение их в земледелии в качестве органического удобрения.

Всемерное использование местных ресурсов должно иметь важное значение. Утилизация последних наряду с экономией первичных ресурсов ведет к улучшению состояния окружающей среды, а также сопредельных территорий.

Прогресс целлюлозно-бумажной промышленности – самой крупной области химической переработки древесины наряду с развитием сырьевой базы – зависит от исследования механизма превращений компонентов в процессах делигнификации, выяснения наиболее эффективных способов ингибирования процессов окислительной деструкции целлюлозы и катализа процессов делигнификации, использования гемицеллюз и лигнина в составе полуфабрикатов высокого выхода, а также изыскания путей эффективного использования образующихся отходов, включая лигнин, осадки очистных сооружений.

При обосновании направлений утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности как и других отходов промышленного производства, в том числе и бытовых, следует всецело следовать трем основным принципам, а именно: не навредить среде обитания; минимизировать финансовые потери производства на их решение; рационально распорядиться вторичными ресурсами [9, 12, 18, 20, 22, 24].

С позиций физикохимии целлюлозы (древесины) как природных полимеров абсолютно закономерным и всецело доказанным является процесс формирования плодородия почвенных систем за счет обогащения их остатками растений, отмирающих в процессе эволюции. Именно с этих позиций считаем совершенно оправданым и разумным направление утилизации отходов РУП «Завод газетной бумаги» для решения мелиоративных задач земледелия, поскольку это

направление является наиболее благоразумным с позиций финансов, экологии и благосостояния потомков. Наша аргументация базируется не на формальном подходе к решению задачи по утилизации отходов, которую традиционно решали внесением их в почву как «могильник», воспринимающей все, что в нее попадает, а как среды, несущей новую жизнь для всего живого, обладающей мощным потенциалом, способная к самореализации своих функций, в том числе и за счет разумной деятельности человека.

В структуре древесины присутствуют два основных полимера, отличающихся как по своей молекулярной структуре, так и по свойствам. Это целлюлоза – линейный полимер и лигнин – гетероциклический полимер ароматического строения. Для первого как полисахарида характерен относительно короткий период «жизни» в почвенных средах, т.е. он выполняет роль гидрофильного мультирующего материала почвы и обеспечивает активизацию жизненных функций микробной популяции в почве. Лигин, наоборот, чрезвычайно устойчивый полимер ко всем видам деструкции и является своеобразным модификатором (улучшителем) структуры, обменных свойств почвы [7, 16, 17]. Фрагменты целлюлозы – это, как правило, материалы, имеющие белый цвет, а фрагменты лигнина обладают коричневым цветом. Если целлюлоза как природный полимер с коротким сроком «жизни» в почвенных системах представляет собой тактический инструмент решения задач почвы, то лигин, наоборот, ингредиент, который «работает» на решение стратегических задач земледелия. Совмещение же обоих полимеров, которые присутствуют в осадке очистных сооружений бумажного производства, представляет собой тот материал, который благотворно обеспечивает почве важные

для нее мелиоративные, но не удобительные функции, что связано с небольшим содержанием в древесине и ее производных микро- и макроэлементов (N, P, K), тем не менее эта задача решаема при рациональной схеме утилизации осадка совместно с другими региональными отходами производства, которые нужно рассматривать как вторичные источники сырья [3–7, 11, 14–17, 21].

Для продуктов природоохранного и аграрного назначения чрезвычайно важны знания об их природе и, прежде всего, об их способности как ионообменников. Это обусловлено всецело их молекулярной структурой и физикохимическими свойствами. Согласно современным представлениям, макромолекула природного полимера целлюлозы состоит из повторяющихся 1,5-ангидроглюкопиранозных звеньев, соединенных между собой 1,4- β -D-гликозидной связью. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в молекуле целлюлозы другие типы связей (так называемые слабые связи) встречаются относительно редко – приблизительно одна на 300–500 остатков глюкозы [9]. Из-за строго определенного расположения асимметрических атомов углерода целлюлоза относится к классу стереорегулярных полимеров. Каждая глюкопиранозная единица содержит одну первичную (в положении 6) и две вторичные (в положениях 2 и 3) гидроксильные группы, которые обладают различной реакционной способностью. В основном химические превращения молекул целлюлозы могут проходить либо с разрывом ковалентных связей между звеньями глюкозы, т.е. с изменением длины цепи, либо в результате взаимодействия гидроксильных групп в элементарных звеньях без нарушения основной цепи. Наличие в молекуле целлюлозы большого числа гидроксильных групп приводит к образованию многочисленных водородных связей, которые и определяют характер внутри- и межмолекулярного взаимодействия полимерных цепей.

Благодаря отмеченным особенностям строения нативной целлюлозы, ее растворению и превращению обычно предшествуют процессы набухания в тех или иных реагентах. В частности, действие концентрированных растворов едкого натра и гидроокисей других щелочных металлов на волокно целлюлозы приводит к его значительному набуханию и образованию нового соединения – щелочной целлюлозы (алкалицеллюлозы), что сопровождается изменением степени кристалличности целлюлозы и повышением ее реакционной способности.

Растворимость целлюлозы в растворе щелочи можно повысить введением в раствор добавок цинката натрия, мочевины, тиомочевины, гидроокиси бериллия. Растворителями для целлюлозы и некоторых ее производных являются водные или водно-щелочные растворы ком-

плексных соединений гидроокисей некоторых поливалентных металлов (меди, цинка, кобальта, никеля) с аммиаком или аминами, из которых наибольший интерес представляет кадоксен и натрийжелезовиннокислый комплекс. Растворение целлюлозы в кадоксene, по-видимому, обусловлено образованием комплексного соединения с разрывом водородных связей в кристаллических областях целлюлозы. Целлюлоза растворяется также в концентрированной (85–90 %-ной) фосфорной кислоте, однако при этом происходит ее медленный гидролиз. Карбоксильные группы могут быть введены в макромолекулу целлюлозы методами избирательного окисления, этерификации, алкилирования, а также при синтезе привитых сополимеров целлюлозы.

Методом избирательного окисления может быть получена монокарбоксицеллюлоза, содержащая в элементарном звене макромолекулы COOH-группу. Карбоксильные группы могут быть введены в макромолекулу целлюлозы и методом алкилирования. В результате реакции получается простой эфир целлюлозы – карбоксиметилцеллюлоза. Натриевая соль этого производного целлюлозы растворима в воде, что дает возможность применять ее в качестве kleящего материала, добавки при бурении нефтяных скважин и для других целей [7, 9, 16, 22].

Лигнин наряду с целлюлозой – наиболее распространенное органическое вещество, которое входит в состав одревесневших клеточных стенок всех наземных растений. Природный лигнин полидисперсен, поэтому для его определения иногда используют термины «лигнинные вещества», или «полилигнолы». Поскольку строение лигнина еще не установлено, формулы, предложенные различными авторами, носят гипотетический характер [16]. Структурными мономерами лигнина являются фенилпропановые звенья. Существование различных типов связей между лигнином и другими компонентами растительной клеточной стенки, многообразие связей и функциональных групп самой макромолекулы лигнина приводят к тому, что при любых методах выделения лигнина получаются продукты, значительно отличающиеся по свойствам не только от природного лигнина, но и друг от друга. Поэтому использование каждого вида лигнина требует самостоятельного исследования. Для лигнина свойственно отсутствие полярных (обменных) функциональных групп, но специфика строения его полисопряженных ароматических структур обеспечивает ему высокую способность к иммобилизации поливалентных ионов, особенно при щелочной реакции среды. Для такого сложного, т.е. композиционного, материала как осадок сточных вод (ОСВ) при производстве газетной бумаги все отмеченное выше количественно должно быть изучено соответствующими методами с целью изыскания оптимальных направле-

ний его утилизации, в том числе и для обустройства искусственных геохимических барьеров, блокирующих миграцию тяжелых металлов, других поллютантов, в зонах, имеющих техногенное загрязнение.

Утилизация ОСВ имеет важное агроэкономическое значение для народного хозяйства. Наличие в осадках необходимых для растений элементов питания определяет целесообразность их применения в качестве органического удобрения. Один из факторов, ограничивающих их использование, – возможность токсикологического влияния на состояние среды (табл. 1). Ценность ОСВ как удобрения в значительной степени определяется не только содержанием азота, фосфора и калия, но и присутствием в них различных микроэлементов – бора, молибдена, марганца, цинка и др. Ограничивающий фактор – наличие солей тяжелых металлов, токсичных для растений, животных и человека [24].

На большинстве очистных станций, особенно мелких, ОСВ подвергаются только одному виду обработки – обезвоживанию путем подсушки на иловых площадках. Осадки, не прошедшие полной обработки, загнивают и опасны в санитарно-эпидемиологическом отношении. Для применения таких осадков в качестве удобрений необходима дополнительная обработка их в условиях сельскохозяйственного производства. Простейший вид обработки – компостирование ОСВ с иловых площадок совместно с торфом, твердыми бытовыми отходами или другими наполнителями [16, 17]. По физическому состоянию осадки сточных вод, прошедшие период выдержки на площадках с твердым покрытием после поступления туда с иловых площадок (карт), представляют собой твердую сыпучую массу с преобладающим размером частиц 2–5 мм, объемной массой 700–800 кг/м³. Осадки, предназначенные для использования в качестве удобрения, должны соответствовать определенным требованиям [17] (табл. 2).

Для компостирования с ОСВ пригодны все виды торфа, отвечающие ГОСТ 12101–77. Соотношение осадка и торфа зависит от качества последнего и времени закладки компоста. В зимнее время для лучшего разогревания компоста относительное содержание торфа увеличивают, соотношение 2–1,5:1. При весенне-летнем приготовлении компоста соотношение 1,5–1:1. Качество компоста повышается при добавлении в смесь торф–осадок извести из расчета 15–20 кг/т компоста. Срок созревания компостов 1,5–2 месяца в летнее время и 3–4 месяца в зимнее время. Правильно приготовленные компости без добавок минеральных удобрений при pH 6,7–7,0 в расчете на сухое вещество должны содержать (%): органического вещества не менее 50, N_{общ} 1,8–2,0; P₂O₅ общ 1,0–1,2; K₂O 0,2–0,5.

Таблица 1. Результаты химического и спектрального анализа золы ОСВ РУП «Завод газетной бумаги» (зольность – 34,44 %)

Показатель	Содержание золы, масс. %	Показатель	Содержание металлов в золе, г/т
SiO ₂	16,72	Ni	15
TiO ₂	0,17	V	30
Al ₂ O ₃	9,05	Cr	10
Fe ₂ O ₃	6,71	Pb	30
MnO	0,41	Mo	<1
CaO	54,34	Zr	300
MgO	2,73	Cu	70
K ₂ O	0,3	Zn	700
Na ₂ O	0,85	Vb	1
P ₂ O ₅	0,65	V	10
SO ₃	1,81	Ga	<10
		Sn	7
		Sr	700
		Ba	300
		B	30
		Mn, кг/т	5
		Ti, кг/т	1,5

Таблица 2. Требования к ОСВ, предназначенным для использования в качестве удобрения

Показатель	Величина, % массы сухого вещества, не менее
Органическое вещество	40
Азот (N)	1,6
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,6
Калий (K ₂ O)	0,2
Влажность, % не более	82

По способу получения и характеру накопления ОСВ и компости – органические удобрения, которые в первую очередь следует применять в пригодных хозяйствах, прилегающих к очистным станциям. При этом необходимо учитывать наличие в них потенциально токсичных веществ. Оптимальный срок внесения удобрений на основе ОСВ – осенний под зяблевую вспашку, а также летний при обработке паровых и других севооборотных площадей, свободных от убираемых рано культур. На слабо- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах дозы удобрений составляют 10–15 т/га по сухому веществу, на окультуренных дерново-подзолистых почвах, супесчаных и черноземах они могут быть понижены до 5–10 т/га. ОСВ вносят и совместно с минеральными удобрениями (табл. 3). Обязательное условие использования ОСВ и компостов в качестве удобрения – соблюдение требований охраны окружающей среды. Их следует применять на ровных участках, не подверженных водной эрозии, с уровнем грунтовых вод не выше 40 см от поверхности почвы. При внесении удобрений на мелиорированных площадях вдоль ма-

гистральных каналов следует оставлять защитные полосы шириной не менее 30 м.

Усредненные агрехимические требования к органическим удобрениям (компостам) на основе ОСВ и торфа представлены в табл. 4. Следует

добавить, что компостирование ОСВ с торфом как природным сорбентом тяжелых металлов позволяет существенно улучшить качество и агрокологические свойства удобрений.

Таблица 3. Дозы минеральных удобрений при совместном внесении с ОСВ под сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых и серых лесных почвах [19]

Культура	Доза N при окультуренности почвы, кг/га			Доза Р ₂ O ₅ при содержании в почве, мг/100 г			Доза K ₂ O при содержании в почве, мг/100 г		
	хорошей	средней	слабой	15–20	10–15	5–10	17–25	8–17	4–8
ОСВ 5 – 10 т/га									
Картофель	50–60	80–90	120–130	–	25–30	40–45	60–70	90–100	140–150
Озимая пшеница	40–50	60–70	90–100	15–20	25–30	40–45	50–60	80–90	110–120
Озимая рожь	30–40	60–70	90–100	15–20	25–30	40–45	50–60	80–90	110–120
Кормовая свекла	80–90	110–120	130–140	15–20	25–30	40–45	60–70	90–110	120–130
Лен	50–60	60–70	70–80	15–20	25–30	40–45	60–70	90–120	140–160
Яровые зерновые + травы	30–40	60–70	90–100	15–20	25–30	40–45	50–60	70–80	90–100
Многолетние злаковые и бобовые травосмеси	20–30	30–40	40–50	15–20	25–30	35–40	50–60	80–90	110–120
ОСВ 10 – 20 т/га									
Картофель	35–40	65–70	95–100	–	20–25	30–35	50–60	80–90	120–130
Озимая пшеница	30–35	45–50	70–80	–	15–20	20–25	45–50	70–80	90–100
Озимая рожь	25–30	45–50	70–80	–	15–20	20–25	45–50	70–80	90–100
Кормовая свекла	60–70	70–80	100–110	–	15–20	20–25	50–60	70–80	95–110
Лен	30–40	45–50	60–70	10–15	15–20	35–40	50–60	90–100	120–130
Яровые зерновые + травы	25–30	45–50	70–80	–	15–20	20–25	45–50	70–80	80–90
Многолетние злаковые и бобовые травосмеси	–	–	–	–	15–20	20–25	45–50	70–80	90–100

Примечание. При использовании осадка, обеззараженного аммиаком, азотные удобрения не вносят. Фосфорные удобрения вносят в рядки при посеве или посадке.

Таблица 4. Агрехимическая характеристика органических удобрений и ОСВ (% абсолютно сухого вещества) [19]

Показатель	Торфяной навоз	Низинный торф	Осадок иловых площадок	Осадок термически высушенный
N _{общ} , %	1,7–2,9	2,6–3,0	0,6–1,7	1,4–2,1
P ₂ O _{5 общ} , %	0,7–0,8	0,4–0,6	1,6–2,5	0,6–1,9
K ₂ O _{общ} , %	2,3–3,3	0,12–0,14	0,2–0,5	0,1–0,3
pH сол.	6,5–7,5	5,4–6,0	6,5–6,9	11,8–13,3
Влажность, %	75–80	65–70	40–50	40–45
Зольность, %	–	22–25	60–70	40–50

Неотъемлемым для древесных отходов природным полимером является лигнин. Как многотоннажный отход гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности лигнин достаточно продолжительное время исследовали с позиций получения на его основе удобрительных и мелиоративных препаратов для земледелия [2, 10, 19, 23, 25]. Лигин – твердый сыпучий ма-

териал темно-бурового цвета с величиной частиц 0,3–0,8 см, пористостью и влагоемкостью на уровне низинного торфа. Это комплекс веществ, различных по химической природе, в составе которых имеются полимеризованный собственно лигнин, остатки полисахаридов, не отмытые при гидролизе моносахара, минеральные и органические кислоты, смолы, воск, азотистые вещест-

ва и зольные элементы. Содержание органических кислот составляет 2–3 %, редуцирующих веществ – 7, трудногидролизуемых полисахаридов – 11–16, негидролизуемого остатка – 60–70 %. Лигнин имеет кислую реакцию среды. Сухая масса его более чем на 90% представлена органическими веществами, из которых 42 % приходится собственно на лигнин. Возврат органического вещества лигнина в биологический круговорот, борьба с загрязнением окружающей среды, увеличение производства местных удобрений – все это обуславливает необходимость и целесообразность переработки лигнина в удобрение [20]. Трудность использования лигнина как удобрения связана с его кислотностью и низким содержанием азота, фосфора, калия. Вместе с тем он обладает и положительными качествами: улучшает воздухопроницаемость, пористость, структуру и другие физико-химические свойства почвы. Особо следует отметить способность его адсорбировать азот легкоподвижных азотсодержащих удобрений и вступать с ним в химическую связь, поэтому вымывание азота из верхних слоев почвы сокращается, а количество азота, усвоенного растениями, увеличивается. В большинстве исследований по определению эффективности лигнина в качестве удобрений выявлено, что в чистом виде он оказывает отрицательное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур. Так, при внесении лигнина под пшеницу в дозе 60 т/га урожайность снизилась с 26,2 до 23,3 ц/га, картофеля – с 263 до 208 ц/га [17, 20].

Предложены различные технологии подготовки лигнина для использования в качестве удобрения. По технологии ленинградского сельскохозяйственного института при обработке лигнина последножевой бражкой получается порошок темно-коричневого цвета с влажностью 45 % и содержанием азота 0,33 %, фосфора – 0,07 %, калия – 0,05 %. Внесение этого удобрения в дозе 30 т/га обеспечило дополнительно 30,7 ц/га клубней картофеля, 6,1 ц/га зерна ячменя и 3,5 ц/га зерна овса [17, 20]. На основе лигнина получены биологически активные ростовые вещества, которые применяют в чистом виде как стимуляторы роста растений или служат для приготовления удобрений. После соответствующей подготовки лигнин вполне отвечает требованиям, предъявляемым к тепличным грунтам. Способ получения субстратов для теплиц включает нейтрализацию лигнина с последующим компостированием [17, 19, 25]. Разработан способ приготовления удобрений путем компостирования лигнина с минеральными удобрениями и обработки водным раствором аммиака. На 100 т компоста берут 94–95 т лигнина влажностью 60–65 %, 4 т фосфоритной муки и 1–1,2 т хлористого

калия. Дозы компонентов можно менять в зависимости от целей и задач, стоящих перед хозяйством. Водным 25 %-ным раствором аммиака компост обрабатывают перед внесением в почву из расчета 2,5 т на 100 т компоста. Полевые испытания показали положительное влияние компостов на урожайность сельскохозяйственных культур: прибавка клубней картофеля составила 22 ц/га, зерна озимой ржи – 4,2 ц/га при дозе компоста 30 т/га [17, 20]. Для производства компостов на основе лигнина используют птичий помет, подстилочный или бесподстилочный навоз. Качество и соотношение компонентов должно быть таким, чтобы конечный продукт удовлетворял техническим требованиям. Согласно ОНТП 17–81, физико-химические показатели компостов на основе лигнина приведены в табл. 5.

Таблица 5. Требования к физико-химическим показателям компоста на основе лигнина

Показатель	Величина
Влажность, % не более	70
Зольность сухого остатка, % не более	25
Содержание в сухом остатке, % не менее:	–
азота	1,5
фосфора	1,5
калия	0,4
Кислотность (pH), не менее	5,5
Внешний вид	Рассыпчатая масса темно-коричневого цвета

Соотношение компонентов зависит от вида и времени закладки компоста. Если компосты готовят в зимнее время, соотношение навоза и лигнина 1:1, в летнее – 1:1–2. Компосты на основе лигнина готовят площадным или послойным способом. Компостные штабеля в поперечном сечении должны иметь форму трапеции следующих размеров: ширина по низу – 3–4 м; по верху – 2–3, высота 1,5–2,0 м, длина произвольная, но не менее 10 м. При закладке компоста в зимнее время, чтобы предохранить штабель от промерзания, высоту его можно увеличить до 2,5 м, ширину основания – до 6 м. Во избежание потерь питательных веществ масса штабеля должна быть не менее 60 т [16, 17]. За период созревания компоста штабель 2–3 раза перебивают. Это способствует лучшей аэрации и нейтрализации компостируемой массы. Летом необходимо следить, чтобы компосты не пересыхали. В случае недостаточной увлажненности компостируемую массу поливают жидким навозом или навозной жижей. Процесс созревания компоста длится 8–12 месяцев (табл. 6).

Таблица 6. Агрохимическая характеристика компостов на основе лигнина

Соотношение компонентов компоста	Влажность, %	рН (KCl)	Содержание на абсолютно сухое вещество, %		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Лигнин + птичий помет (1:1,5)	63,3	6,6	1,52	2,40	0,66
Лигнин + навоз (1:2)	67,2	7,3	1,54	0,33	0,93

Древесная кора содержит все основные элементы питания, которые в процессе ее минерализации становятся доступными для растений. Она обладает хорошим гумусообразующим потенциалом, в процессе минерализации выделяется окись углерода, улучшая углеродное питание растений, богата целлюлозой (33–35 %), лигнином (2–3 %), содержит 5,3–12 мг/100 г калия и следы фосфора. Недостаток коры в том, что она практически не содержит усвояемого растениями азота. Отношение углерода к азоту очень широкое – 140:1. Зольность коры сосновой древесины 2,8 %, еловой – от 3,1 до 5,85 %. Кислотность варьирует в пределах pH 4,8–5,7. Коры биологически активна. В ней обнаружено значительное количество бактерий и грибов, в основном плесневых. Одно из перспективных направлений утилизации коры – компостирование ее с минеральными и органическими добавками и использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений, биотоплива, мульчи и субстратов в защищенном грунте [17, 24]. Для превращения коры в удобрение необходимы микроорганизмы, находящиеся в ней, чтобы обеспечить ее оптимальным количеством питательных веществ, поэтому основное требование при компостировании – дополнительное внесение азота и фосфора для усиления биологических процессов. Азот и фосфор привносят в виде минеральных или органических удобрений, поскольку гумификация клеточных оболочек коры может происходить только после разрушения изолирующих их слоев пробковой ткани, необходимо дробление коры на более мелкие частицы. При этом чем меньше частицы, тем быстрее проходит процесс компостирования. Основная цель компостирова-

ния коры – разложить ее до такой степени, чтобы перевести содержащиеся в ней питательные вещества в доступную для растений форму, устранить биологическое связывание азота в почве, способствовать образованию гумусоподобных веществ в компостах [4, 16, 25].

Технологическая схема производства компостов на основе коры осуществляется в следующей последовательности: измельчение коры до частиц размером 5–10 мм; внесение добавок, стимулирующих ее разложение; подача полученной смеси на площадку; отсыпка смеси в штабели; созревание компоста. Размол коры до требуемой степени дисперсности – наиболее сложная и ответственная часть процесса, так как от размеров частиц в значительной степени зависят расход стимулирующих добавок, длительность компостирования, размеры необходимой под штабеля площадки. Исходная кора для приготовления компостов должна соответствовать определенным требованиям (табл. 7) [17, 24].

В качестве органического удобрения для компостов применяют подстилочный и бесподстилочный навоз, птичий помет. Соотношение коры и навоза или помета зависит от влажности исходных компонентов, времени закладки штабелей. Следует учитывать, что в условиях производства в процессе компостирования масса коры уменьшается на 30 %, навоза – на 20 %. Соотношение коры и навоза или помета при весеннелетней закладке составляет 1:1, при осенне-зимней оно может быть увеличено до 2:1. Основные способы приготовления компостов: послойный, очаговый, площадочный [8, 16, 17]. Качественная характеристика компостов приведена в табл. 8.

Таблица 7. Требования к исходной коре для приготовления компостов

Показатель		Величина
Влажность, % по массе		50–75
Примесь древесины, % по массе, не более		15
Содержание частиц размером 10–40 мм, % по массе, не более		40
Загрязнение минеральными маслами, мазутом, пропиточными веществами, наличие металлических примесей		Не допускается

Таблица 8. Агрохимическая характеристика компостов на основе древесной коры

Соотношение компонентов компоста	Влажность, %	рН (KCl)	Содержание на абсолютно сухое вещество, %		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кора + помет (1:1)	46,9	6,8	1,22	1,25	0,64
Кора + навоз (1:1)	36,6	6,2	0,82	0,26	0,33

Таким образом, представленные обобщенные результаты свидетельствуют, что на основе органических отходов промышленности по переработке древесины представляется возможным производить композиционные материалы удобрительного и мелиоративного назначения для их утилизации при решении задач земледелия, рекультивации почв легкого механического состава, т.е. малопродуктивных, а также территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека (строительных площадок, откосов автодорог и др.). Следует отметить, что при наличии в получаемом удобрении каких-нибудь загрязнений (в том числе и тяжелых металлов), доза их внесения ежегодно либо чередованием не должна

обеспечивать привнесение в почву того или иного загрязнителя выше их ПДК для данного типа почв. Следует отметить, что патентная активность мирового сообщества к мелиоративным задачам утилизации осадка сооружений очистки целлюлозно-бумажной промышленности достаточно «прохладная». Это, возможно, связано с их сравнительно приемлемым для экологии составом и свойствами, но и одновременно с возможностью использования их по другим направлениям утилизации, с одной стороны, а с другой – законодательным запрещением технологий утилизации отходов промышленного производства в земледелии, как противоречащим получению экологической продукции растениеводства.

Литература

1. Алексеев, А. А. Тяжелые металлы в почвах и растениях / А. А. Алексеев. Л., 1987.
2. Арбузов, В. В. Композиционные материалы из лигниновых веществ / В. В. Арбузов. М., 1991.
3. Богомол, Г. М. Пути использования биологического распада лигнина в сельском хозяйстве / Г. М. Богомол, Н. И. Малахова, О. Н. Антропова // Продукты переработки древесины – сельскому хозяйству : тез. докл. Всесоюз. конф. 1973. Т.2. С.171–174.
4. Глушенко, Н. В. Использование отходов гидролизно-дрожжевого производства в сельском хозяйстве / Н. В. Глушенко, М. А. Кузьмин, Р. Г. Иванова // Продукты переработки древесины – сельскому хозяйству : тез. докл. Всесоюз. конф. 1973. Т. 2. С.113–119.
5. Глушенко, Н. В. Получение удобрений из шламовых отходов гидролизного производства / Н. В. Глушенко, М. А. Кузьмин, Р. Г. Иванова // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1976. № 6. С. 5–6.
6. Евстигнеев, Э. И. Химия древесины / Э. И. Евстигнеев. М., 2007.
7. Казарновский, А. М. Свойства и применение аммонизированного лигнина в сельском хозяйстве / А. М. Казарновский, М. И. Чудаков // Продукты переработки древесины – сельскому хозяйству : тез. докл. Всесоюз. конф. 1973. Т. 2. С.155–164.
8. Карпова, Е. А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на состояния железа и тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах / Е. А. Карпова // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1059–1067.
9. Китаев, И. В. Продукция химической и химико-механической переработки древесины / И. В. Китаев. М., 1966.
10. Комаров, А. А. Получение гумусоподобных соединений из лигнина и их физиологическое действие на растения / А. А. Комаров. М., 2004.
11. Короткевич, П. Г. Использование отходов ЦБП для повышения урожайности сельскохозяйственных культур / П. Г. Короткевич, И. Г. Марков // Продукты переработки древесины – сельскому хозяйству : тез. докл. Всесоюз. конф. Рига. 1973. Т.2. С. 125–130.
12. Кульман, А. Искусственные структурообразователи почв / А. Кульман. М., 1982.
13. Николаев, А. Ф. Водорастворимые полимеры / А. Ф. Николаев, Т. И. Охрименко. Л., 1979.
14. Никольский, К. С. Биомасса из отходов производства / К. С. Никольский, В. В. Соколов // Химия в сельском хозяйстве. 1993. № 3-4. С. 20–21.
15. Новые способы приготовления эффективных удобрений на торфяной основе : справ. / Г. П. Вирясов [и др] ; под общ. ред. Г. П. Вирясова. Минск, 1979.
16. Оболенская, А. В. Химия лигнина / А. В. Оболенская. СПб., 1993.
17. Органические удобрения : справочник / В. А. Васильев [и др] ; под общ. ред. В. А. Васильева. М., 1988.
18. Роговин, З. А. Химические превращения и модификация целлюлозы / З. А. Роговин, Л. С. Гольбрайх. М., 1979.
19. Спетнин, В. Н. Химическая модификация гидролизного лигнина в комплексное органоминеральное удобрение / В. Н. Спетнин. М., 1992.
20. Тельшева, Т. М. Удобрения на основе лигнина / Т. М. Тельшева, Р. Е. Панкова. Рига, 1979.
21. Трушкин, А. В. Перспективное направление в использовании лигнина / А. В. Трушкин, С. К. Ка-дышев // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1973. № 2. С.15–16.
22. Фундаментальные исследования в области комплексного использования древесины : тез. докл. 4-го Междунар. симп. ученых стран – членов СЭВ. М., 1982.
23. Хмелинин, И. Н. Эколо-биологические основы включения гидролизного лигнина в почвообразование / И. Н. Хмелинин, В. М. Швецова. СПб., 2000.

24. Целлюлозные массы из древесины и коры: состав, свойства, применение / И. С. Гелес [и др] ; под общ. ред. И. С. Гелеса. Петрозаводск, 1985.
25. Lin S. Y., Dence C. W. Methods in lignin chemistry / S. Y. Lin, C. W. Dence. London, 1992.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 11.01.2012

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута,
Г. С. Монич, Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова**

**ОТХОДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И УТИЛИЗАЦИЯ ИХ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ. ЧАСТЬ I**

Проанализированы состав, свойства и пути утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности. Показано, что оправданным направлением утилизации отходов РУП «Завод газетной бумаги» является применение их в земледелии. Такой подход основывается на том, что в отходах предприятий данного профиля имеются необходимые для растений элементы питания, которые определяют целесообразность их применения в качестве органического удобрения. Обобщенные результаты, представленные в статье, свидетельствуют о возможности получения на основе отходов промышленности по переработке древесины композиционных материалов удобрительного и мелиоративного назначения.

**I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, Y. G. Yanuta,
G. S. Monich, N. S. Glukhova, V. N. Aleynikova**

**PULP AND PAPER INDUSTRY WASTE
AND THEIR UTILIZATION IN AGRICULTURE. PART I**

The structure, properties and ways of pulp and paper industry waste utilization are analyzed. It is shown, that justified waste utilization of the RUE «The news paper factory» is to apply it in agriculture. This approach is based on the fact that the waste of this profile enterprises has nutrition elements which necessary for plants which define expediency of their application as organic fertilizer. The presented generalized results in the article testify to the possibility of producing on the basis of industry waste of wood processing composite materials of fertilizing and ameliorative assignment.

УДК 676.088:631.879.3 (476)

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута, Г. С. Монич,
Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова**

ОТХОДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И УТИЛИЗАЦИЯ ИХ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ. ЧАСТЬ II.

Обоснована возможность использования отходов РУП «Завод газетной бумаги» Республики Беларусь в качестве мелиоративных материалов для оптимизации агрофизикохимических свойств почв, сопредельных с предприятием.

Нормирование содержания металлов в почвах предусматривает установление их предельно допустимых количеств. Под предельно допустимыми количествами (ПДК) тяжелых металлов (ТМ) следует понимать такую их концентрацию, которая при длительном воздействии на почву и на произрастающие на ней растения не вызывает каких-либо патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов, а также не приводит к накоплению токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах и, следовательно, не может нарушить биологический оптимум для сельскохозяйственных животных и человека.

В современных условиях сохранить почву в нативном состоянии практически невозможно, так как вся поверхность земли в той или иной мере подвержена воздействию антропогенных продуктов. Ранее уже было отмечено, что отдельные виды загрязнителей распространены глобально (радионуклиды стронция и цезия и др.). Следовательно, вопрос состоит не в том, чтобы иметь чистую почву, а в том, чтобы уровни содержания ТМ антропогенного происхождения находились в почвах сельскохозяйственного использования в количествах, не приводящих к негативным последствиям.

В опытах Н. Г. Зырина с сотрудниками [4], в которых изучали различные уровни загрязнения почв свинцом, цинком и кадмием, было установлено, что губительные концентрации металлов, приводящие к патологии растений, для разных почв различны. Различны они и в зависимости от времени взаимодействия металлов с почвами: чем дольше находится металл в почве, тем прочнее закрепляется он в ней и тем меньше проявляется его фитотоксичность (табл. 1).

В США при определении допустимого поступления ТМ в почву учитывают ее поглотительную способность (табл. 2), которая зависит от многих факторов и прежде всего от содержания в почве илистой фракции частиц диаметром 2–50 мкм, а также органического вещества и концентрации в почве полупоровых окислов, ее кислотности (рН).

Увеличение содержания в почве органических и минеральных коллоидов повышает ее по-

глотительную способность, особенно к ионам, несущим положительный заряд. Поглотительная способность почв увеличивается с увеличением рН, т. е. с приближением реакции почвенной среды к нейтральному значению.

Для определения ПДК в первую очередь следует руководствоваться подвижными формами ТМ: водорастворимыми, обменными, кислоторастворимыми. Выбор формы состояния металла в почве будет определяться чувствительностью методов его определения, концентрацией и вероятностью его присутствия в почве. Так, элементы, содержание которых в почве незначительно, а фитотоксичность высока, лучше определять в кислотной вытяжке, чтобы не усложнять анализ дополнительным концентрированием металла перед определением (кадмий, никель и др.). Часто встречающиеся элементы, количество которых в почвах может быть значительным, а подвижность достаточно высокой, целесообразно определять в аммонийно-буферной вытяжке из почвы. Естественно, что в справочной литературе по ПДК ТМ в почве следует указывать способы их извлечения.

Авторы [1] считают, что для почв допустимо содержание кадмия 5 мг/кг, свинца – 300 мг/кг, а цинка – 500 мг/кг. В настоящее время для почв обоснованы следующие значения ПДК (мг/кг) [9], которые представлены в табл. 3.

Немецкие исследователи [13] рекомендуют установить следующие допустимые нормы содержания ТМ в почве (мг/кг): мышьяк – 20; кадмий – 3; кобальт – 50; хром – 100; медь – 100; ртуть – 2; молибден – 5; никель – 50; свинец – 100; сурьма – 5; стронций – 10; олово – 50; ванадий – 50; цинк – 300.

Если сопоставить ПДК, предложенные [13], например, для цинка, то можно увидеть, что исследователи используют неодинаковые принципы оценки потенциальной опасности металлов. Так, при оценке загрязнения продуктов растениеводства, используемых в пищу человеком, можно принять ПДК Zn 300–500 мг/кг, а в случае оценки качества корма для сельскохозяйственных животных справедливо ограничить ее до 70 мг/кг, так как вегетативные части растений, используемые на корм животным, загрязняются сильнее репродук-

тивных, преимущественно идущих в пищу человеку. Если же рассматривать влияние концентрации Zn в почве на микрофлору и ферментативную активность, можно получить новую, отличающуюся от предыдущих величину ПДК.

ПДК элементов в почве можно устанавливать исходя из величины их предельно допустимых уровней (ПДУ) в продуктах питания растительного происхождения. Задача в этом случае значительно упрощается (табл. 4).

Таблица 1. Токсичность цинка, свинца и кадмия для растений ячменя [4]

Почва	Толерантная доза, мг/кг	Доза металла (мг/кг), при которой наблюдается				Концентрация металлов в почве, ведущая к превышению ПДК	
		гибель	отсутствие зерна	снижение урожая		в соломе	в зерне
Свинец							
Дерново-подзолистая: неокультуренная	<u>125</u> 500	<u>500</u> 2000	<u>500</u> 1000	<u>125</u> 1000	<u>250</u> 1000	<u>250</u> 500	3000
Окультуренная	<u>500</u> 1000	3000	3000	<u>2000</u> 3000	<u>2000</u> 3000	2000	3000
Чернозем типичный	<u>250</u> 1000	1000	1000	1000	<u>500</u> 1000	1000	1000
Кадмий							
Дерново-подзолистая: неокультуренная	<u>2,5</u> 5	<u>10</u> 100	<u>2,5</u> 50	<u>10</u> 50	<u>2,5</u> 10	2,5	<u>5</u> 10
Окультуренная	<u>20</u> 50	100	<u>50</u> 100	<u>50</u> 100	<u>50</u> 100	2,5	<u>50</u> 100
Чернозем типичный	<u>20</u> 50	100	<u>100</u> 100	100	<u>50</u> 100	<u>10</u> 100	100
Цинк							
Дерново-подзолистая: Неокультуренная	125	500	250	125	125	125	–
Окультуренная	500	2000	2000	1000	1000	125	1000
Чернозем типичный	1000	1000	2000	1000	1000	250	2000

Примечание. Для свинца и кадмия в числителе приведены данные 1978 г., в знаменателе – 1980 г.; для цинка – данные 1980 г.

Таблица 2. Допустимые нормы поступления в почву ТМ при внесении в нее осадков сточных вод (ОСВ) в качестве удобрений, кг/га

Элемент	Поглотительная способность, мг-экв/100 г		
	0–5	6–15	15
Кадмий	5	10	20
Хром	125	250	500
Никель	50	100	200
Свинец	500	1000	2000
Цинк	250	500	1000

Таблица 3. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах

Элемент	ПДК подвижных форм химических элементов в почве, мг/кг	ПДК химических веществ в почве (валовое содержание), мг/кг
Кобальт	5,0	Не регламентируется
Медь	3,0	Не регламентируется
Мышьяк	Не регламентируется	2,0
Никель	4,0	Не регламентируется
Ртуть	Не регламентируется	2,1
Свинец	6,0	Не регламентируется
Цинк	23,0	Не регламентируется
Хром	6,0	Не регламентируется

Таблица 4. Предельно допустимые уровни тяжелых металлов, а также мышьяка в пищевых продуктах, мг/кг [2]

Элемент	Пищевые продукты растительного происхождения			
	Хлеб	Овощи	Фрукты	Соки
Hg	0,01	0,01	0,01	0,01
Cd	0,05	0,02	0,02	0,02
Pb	0,35	0,4	0,05	0,4
As	0,1	0,1	0,2	0,1
Cu	—	5,0	10,0	5,0
Zn	—	5,0	10,0	5,0
Fe	—	7,0	5,0	15,0

Содержание металла в почве не должно приводить к загрязнению выращенной на ней растениеводческой продукции, превышающего установленные ПДУ. Зная коэффициенты накопления ТМ различными растениями, можно априори рассчитать предельное содержание металла в почве, не представляющее опасности загрязнения растениеводческой продукции. Для этого ПДУ элемента в пищевом продукте (растении), переведенную на сухую массу, делят на коэффициент накопления, который является отношением содержания элемента (выраженным в мг/кг сухой массы) в растении к содержанию этого же элемента (в аналогичных единицах измерения) в почве. Естественно, что подобный расчет несет определенный элемент условности, как и все ПДК ТМ, установленные для почв.

Анализ статей и патентов по вопросу применения лигнина, выполненный в Японии, отреферированных в журнале «Chemical Abstracts», показал постоянный интерес исследователей к проблеме использования лигнина в сельском хозяйстве [14]. Этой проблематике было посвящено 6 % (всего 600 публикаций), а за более поздний период – 7,8 % (всего 190 публикаций) от общего числа публикаций по использованию лигнина [14]. Лигнин и продукты, получаемые на его основе, предлагается использовать в качестве удобрений, стимуляторов роста растений, инсектицидов, гербицидов, агентов, улучшающих структуру почв, добавок к пищевому рациону животных. Материалы по применению лигнина в сельском хозяйстве отражены также в ряде обзорных статей и монографий [11, 14, 16].

При интенсивном земледелии органическое вещество почвы обеспечивает способность почвы воспринимать, аккумулировать и равномерно поставлять растениям воду и питательные вещества, вносимые с удобрениями, а также поддерживать оптимальный водно-воздушный и санитарный режимы почвы, сохраняя ее как важнейший элемент биосферы [9]. Длительные полевые опыты на дерново-подзолистых почвах в Англии, России, Германии, Беларуси и других странах убедительно показали, что при оптимальной дозе минеральных удобрений и передовой агротехнике нельзя повысить запасы органи-

ческого вещества только за счет пожнивных остатков [12].

Анализ экспериментальных данных многочисленных полевых опытов, проведенных в западном районе Нечерноземной зоны России, показал, что существует тесная зависимость между запасами гумуса в почвах и урожаем сельскохозяйственных культур, в первую очередь зерновых [7]. Так, внесение 8–10 т органических удобрений на 1 га ежегодно приостанавливает убыль гумуса. Кроме того, имеются огромные земельные угодья, подлежащие освоению. Это малопроизводительные суходольные луга и пастбища, поросшие кустарником, лесные вырубки, гари и т. п., которые нуждаются в органических удобрениях. Использование в качестве органических удобрений лигнина, ОСВ с добавками, необходимыми для этих почв (азот, кальций), может дать положительный эффект с длительным последействием, поскольку гумификация лигнина происходит значительно медленнее, чем у обычных органических удобрений [5]. Попытки использовать лигнин в качестве органической добавки в земледелии предпринимались давно [6]. Японские исследователи при изучении разложения сульфитного щелока в почве установили, что очищенный лигносульфонат довольно устойчив к разложению [15]. В многочисленных экспериментах, моделирующих процессы гумификации различной травянистой растительности, показано, что лигнин растительных остатков длительное время остается без изменений [5], и только через год весьма медленно начинается его разложение [3]. Изучение процесса превращения лигнина в почвах позволяет разработать способы использования лигнина в качестве удобрения. В настоящее время установлено, что в образовании гумусовых веществ принимают участие все компоненты растительной (и животной) ткани, как устойчивые к микробному воздействию [8].

Линейнопостроенные ассоциаты найдены в неразложившихся растительных остатках, однако вещества, образующиеся при микробиологическом разложении остатков, имеют большее значение. Этот процесс идет более или менее интенсивно, поэтому для образования стабильной

комковатой структуры в почву должны регулярно поступать легкоразлагающиеся вещества и, в частности, ОСВ. Крупные комья и глыбы, образующиеся при вспашке обработанного линейными полимерами целлюлозы пахотного слоя, легко распадаются на более мелкие отдельности или поддаются крошению без особого механического усилия. В противоположность этому крупнокомковатую структуру необработанных структурообразователями (мелиорантами) почв обычно можно изменить только после повторной механической обработки. Ослабление сил сцепления обуславливает также уменьшение расхода тягового усилия, т. е. затрат на обработку почвы. Одновременно образование комковатой структуры почвы сопровождается благоприятным распределением ее пор, что имеет особо важное значение для водного и воздушного режимов в почвах со средним и тяжелым механическим составом [8]. В результате обработки структурообразователем (мелиорантом) почвы, трудно поддающейся механической обработке ранней весной, ее поверхность высыхает и нагревается быстрее, а нижний предел пластичности находится при более высоком уровне ее влажности. Таким образом, все процессы, особенно вспашка, значительно облегчаются и почву можно обрабатывать в более влажном состоянии.

Как показали опыты на 9 почвах, емкость катионного обмена под влиянием полианионов увеличивается на 2–12 % [8] в зависимости от вида и концентрации полимера, типа почвы, содержания в ней глины и вида глинистых минералов. Через 5 лет после внесения полимера емкость обменного поглощения сокращается на 25–35 % первоначального ее увеличения. Кроме того, в почвах улучшенной структуры, подверженных опасности засоления, резко снижается содержание солей натрия [8]. Для применения линейных полимеров и других структурообразователей в целях оптимального улучшения пахотного и (или) подпахотного слоя почвы представляет интерес промежуток времени, в течение

которого сохраняются вызванные ими изменения физических свойств почвы. Продолжительность действия мелиоранта-структурообразователя по возможности должна совпадать с периодом, в течение которого измененные свойства почвы заметно влияют на развитие и на урожайность растений. Однако здесь часто возможны несовпадения и прежде всего в том случае, если под влиянием мелиоранта одновременно меняется несколько свойств почвы, но продолжительность действия отдельных факторов неодинакова. Второстепенное значение имеет продолжительность действия мелиоранта при обработке поверхности почвы, например, с целью ее временной защиты от ветровой эрозии, так как в процессе вспашки после завершения вегетационного периода разрушается противоэрэзационный защитный слой, т. е. все приемы внесения в почву отходов целлюлозно-бумажного производства в той или иной степени эффективны как почвоулучшители, но не всегда благоприятны для повышения продуктивности почв.

Для анализа взаимодействия ОСВ с ионами поливалентных металлов нами были использованы сернокислые соли меди, цинка, никеля. Полученные данные (рис. 1) свидетельствуют, что наибольшей статической обменной емкостью ОСВ обладают ионы меди и в несколько меньшей степени ионы никеля и цинка. Одновременно кривые титрования ОСВ (рис. 2) экспериментально подтверждают, что максимальной буферностью, т. е. емкостью обмена, ОСВ обладают в диапазоне $\text{pH} \sim 7,5\text{--}6$, а кислотность ОСВ и их дисперсионной среды (фугата) практически не отличаются во всем диапазоне pH (рис. 3), хотя при $\text{pH} \sim 7,5\text{--}6$ кислотность ОСВ несколько ниже, чем фугата. Именно при $\text{pH} \geq 6,0$ практически прекращается инфильтрационное вымывание железа (III) из ОСВ, т. е. их органическая матрица в этом диапазоне pH прочнее удерживает ионы Fe^{3+} , препятствуя миграционному переносу их в сопредельные среды (рис. 4).

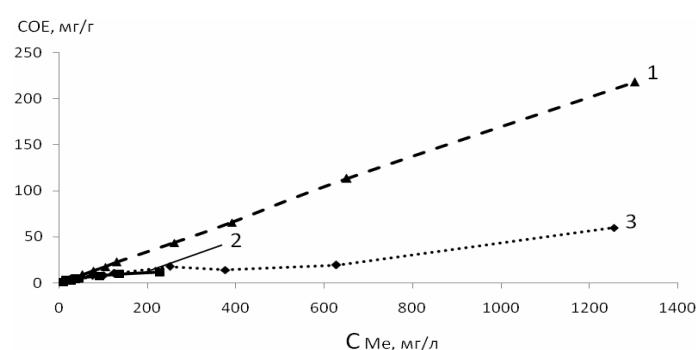


Рис. 1. Сорбционные свойства ОСВ бумажного производства из моноионных растворов CuSO_4 (1), NiSO_4 (2), ZnSO_4 (3)

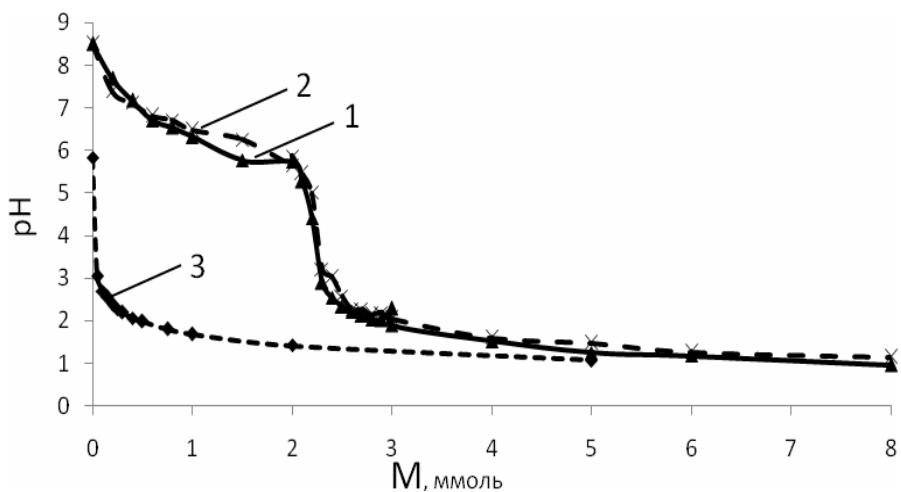


Рис. 2. Кривые титрования ОСВ: 1 – HCl, 2 – H₂SO₄, 3 – фугата ОСВ

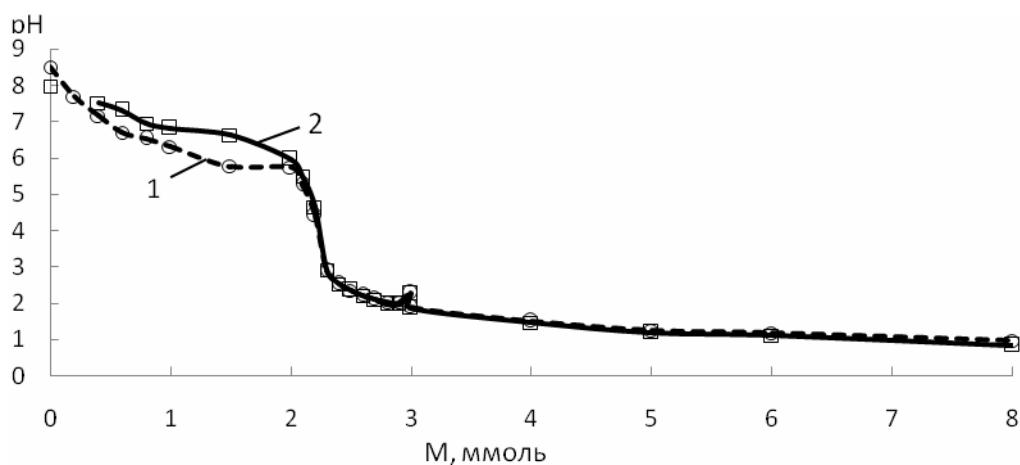


Рис. 3. Изменение pH супензии ОСВ (1) и фугата (2) при регулировании pH супензии ОСВ H₂SO₄

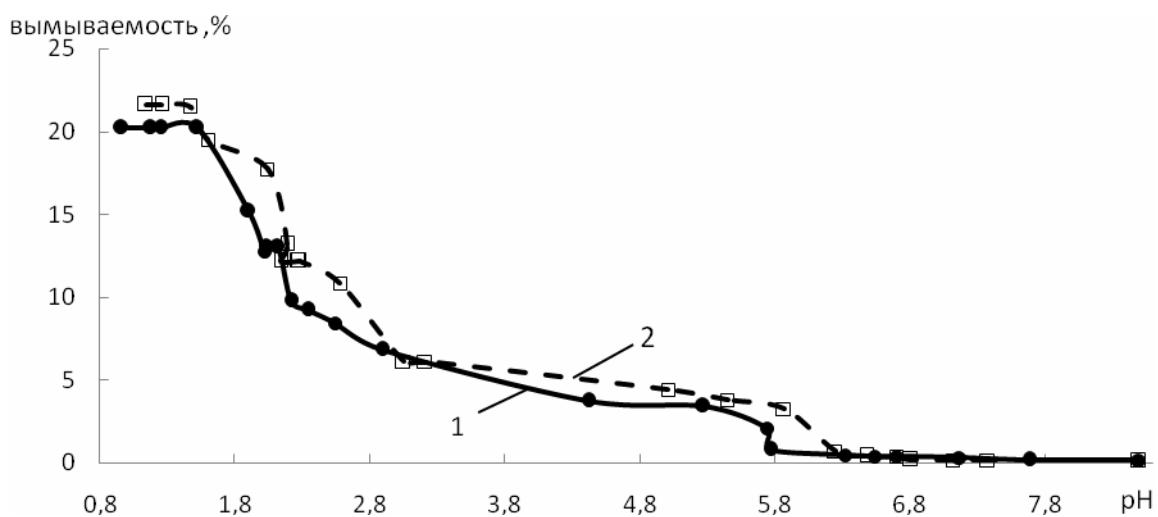


Рис. 4. Вымываемость Fe³⁺ из ОСВ при использовании водных растворов HCl (1) и H₂SO₄ (2)

Конечным тестом экологической совместимости ОСВ, а равно и других органических отходов производства, являются их вегетационные испытания как потенциальных мелиорантов почв. На рис. 5 представлены результаты вегетационных испытаний ОСВ. Если оценить кинетику развития растений, то можно однозначно отметить, что за первые 7 суток в развитии растений визуальные различия не наблюдаются. В последующие 14 суток отмечена тенденция отставания роста кукурузы на субстрате из ОСВ, но тем не менее признаков явной депрессии в развитии растений отмечено не было, а отставание в их развитии было обусловлено дефицитом NPK по сравнению с субстратами, в которых присутствовал торф как мощный носитель NPK и прежде всего азота.

Таким образом, анализ выполненных ранее исследований, а также экспериментальных работ свидетельствуют, что ОСВ являются потенциальным органическим ресурсом при использовании в качестве мелиоративных материалов для оптимизации агрофизикохимических свойств почв прежде всего на территориях, со-предельных с предприятием по производству газетной бумаги и других предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Это обусловлено экономикой производства, т. е. минимиза-

цией затрат на утилизацию отходов производства, а точнее ОСВ.



**Рис. 5. Вегетационные испытания субстратов на основе ОСВ: 1 – ОСВ (100 %);
2 – ОСВ (75 %)+торф (25 %); 3 – ОСВ (50 %)+торф (50%). Культура: кукуруза.
Продолжительность эксперимента – 21 сутки.
Повторность 3-кратная**

Литература

1. Алексеев, А. А. Тяжелые металлы в почвах и растениях / А. А. Алексеев. Л., 1987.
2. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов : санитарные правила и нормы СанПиН 11-63 РБ-98. Минск, 2000.
3. Евстигнеев, Э. И. Химия древесины / Э. И. Евстигнеев. М., 2007.
4. Карпова, Е. А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на состояния железа и тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах / Е. А. Карпова // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1059–1067.
5. Комаров, А. А. Получение гумусоподобных соединений из лигнина и их физиологическое действие на растения / А. А. Комаров. М., 2004.
6. Короткевич, П. Г. Использование отходов ЦБП для повышения урожайности сельскохозяйственных культур / П. Г. Короткевич, И. Г. Марков // Продукты переработки древесины – сельскому хозяйству : тез. докл. Всесоюз. конф. Рига, 1973. Т. 2. С. 125–130.
7. Кулаковская, Т. Н. Дифференциация потребностей в органических удобрениях для создания положительного баланса гумуса в пахотных почвах БССР / Т. Н. Кулаковская, В. Н. Матвеева // Тез. докл. V делегатского съезда Всесоюз. об-ва почвоведов. Рига, 1977. Т. 8. С. 59–61.
8. Кульман, А. Искусственные структурообразователи почв / А. Кульман. М., 1982.
9. Лыков, А. М. Органическое вещество и плодородие дерново-подзолистых почв в условиях интенсивного земледелия / А. М. Лыков // Тез. докл. V делегатского съезда Всесоюз. об-ва почвоведов, Рига, 1977. Т. 8. С. 49–51.
10. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: гигиен. нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.
11. Хмелинин, И. Н. Эколого-биологические основы включения гидролизного лигнина в почвообразование / И. Н. Хмелинин, В. М. Швецова. СПб., 2000.
12. Шаймухаметов, М. Ш. Закрепление органического вещества в дерново-подзолистых почвах как прием их оккультуривания / М. Ш. Шаймухаметов // Почвоведение. 1971. № 8. С. 47–55.
13. Kloke, A. Contents of As, Cd, Cr, Pb, Hg and Ni in Plants Grown on Contaminated Soil // Papers Presented to the Symposium on the Effects of Air-born Pollution on Vegetation. 1980. Bd. 109. N. 81. P.192.
14. Lin, S.Y., Dence C.W. Methods in lignin chemistry. London, 1992.
15. Perl, I. Annual review of lignin chemistry // TAPPI. 1968. Vol. 51. № 3. P. 83A–102A.

16. Simionescu C. Domenii de utilizare a liguinei si derivatilor // Celuloza si hirtie. 1975. Vol.24. № 4. Р. 156–176.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 11.01.2012

И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута,
Г. С. Монич, Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова

ОТХОДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И УТИЛИЗАЦИЯ ИХ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ. ЧАСТЬ II

В современных условиях сохранить почву в натуральном состоянии практически невозможно, следовательно, вопрос состоит в том, чтобы уровни содержания загрязняющих веществ, в частности тяжелых металлов, находились в почвах сельскохозяйственного использования в количествах, не приводящих к загрязнению выращенной на ней продукции, т. е. превышающих установленные предельно допустимые уровни. Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур не достаточно только оптимальной дозы минеральных удобрений и передовой агротехнике, также необходимо внесение в почву мелиоративных препаратов, которые должны приостанавливать убыль гумуса. Использование в качестве мелиорантов лигнина, осадков сточных вод с добавками, необходимыми для почв (азот, кальций), позволяет получить положительный эффект с длительным последействием, поскольку гумификация лигнина происходит значительно медленнее, чем у обычных органических удобрений.

В связи с выше отмеченным, в работе выполнен анализ исследований использования осадков сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности в качестве мелиорантов почв. Обоснована возможность применения отходов РУП «Завод газетной бумаги» Республики Беларусь в качестве мелиоративных материалов для оптимизации агрофизикохимических свойств почв, сопредельных с предприятием.

I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, Y. G. Yanuta,
G. S. Monich, N. S. Glukhova, V. N. Aleynikova

PULP AND PAPER INDUSTRY WASTE AND THEIR UTILIZATION IN AGRICULTURE. PART II

To keep the soil in native condition nowadays is practically impossible, hence, the matter regards that levels of polluting substances content, heavy metals in particular, stay in agricultural soils in the quantities, which do not result in the pollution of the grown produce, i.e. exceeding the set maximum permissible levels. To raise the yield of farming crops the optimum dose of mineral fertilizers and advanced agricultural machinery is not sufficient. Introduction of ameliorative preparations into the soil should be done to prevent humus decrease. Application of lignin, sewage sediments with necessary for soil additives (nitrogen, calcium) allows to get a long-term positive effect since the lignin humification runs much more slowly, than that of ordinary organic fertilizers.

In connection with above noted, the analysis of researches of the sewage sediments of pulp and paper industry use as soil ameliorants is made. The possibility to apply the RUE «News paper factory» Republic of Belarus waste as ameliorative material to optimize agro-physical-chemical particularities of the adjacent with enterprise soil is proved.

УДК 622.7+631.417.1

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович, Г. П. Бровка

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗНЫХ СООТНОШЕНИЯХ ТОРФА И ЭКСТРАГЕНТА

Изучено влияние разного соотношения торф : экстрагент (1:5, 1:7, 1:10, 1:25 и 1:50) на выход гуминовых веществ (ГВ) и технологические показатели процесса их экстракции. Соотношение 1:5 не может быть рекомендовано для экстракции ГВ в реакторах из-за больших потерь ГВ и высокой вязкости суспензии. Для экстракции ГВ из торфа наиболее благоприятны соотношения между 1:7 и 1:10. Применять соотношения более 1:10 нецелесообразно из-за снижения эффективности экстракции ГВ.

Согласно прогнозу Международного Торфяного Общества [9], промышленное получение гуминовых препаратов из торфа для использования в качестве биостимуляторов, красителей, а также в бальнеологии, косметике, медицине и других направлениях будет неуклонно расширяться благодаря эффективности их действия, простоте получения, дешевизне и доступности натурального сырья.

Технология получения ГВ из торфа должна обеспечить ряд требований, предъявляемых к получаемому продукту в жидком или твердом состоянии. Например, первое требование – концентрация растворов ГВ должна быть достаточной для практического использования. Если с точки зрения пригодности раствора в качестве биологически активных препаратов минимальная концентрация ГВ практически не ограничена (ограничения только экономические), то для производства гуминового преобразователя ржавчины концентрация ГВ в щелочном растворе должна быть не ниже 5 %. Второе требование – получение наибольшего количества целевого продукта за один технологический цикл. Третье – минимизация удельных расходов сырья, воды, реагентов и тепла в расчете на 1 кг готового продукта.

Для регулирования технологических процессов используются разные экстрагенты ГВ (известно несколько десятков), соотношение между сырьем и экстрагентом (модуль), температура, давление, концентрация реагентов, продолжительность экстракции ГВ из торфа, а также качество сырья [2–5]. При этом стремление исследователей сохранить за собой «ноу-хау» обуславливает публикацию неполного объема информации о технологических процессах и режимах, поэтому нередко приходится выяснять ряд технологических вопросов экспериментальным путем.

Ранее проведенные исследования показали [1], что при получении ГВ из торфа на удельный расход сырья, реагентов и тепла существенное влияние оказывают концентрация щелочи, модуль, температура экстракции и качество сырья. Установлено, что наименее затрат-

ной является экстракция 2 %-ным раствором NaOH при температуре 96–98 °C и модуле 1:10, а лучшим сырьем – малозольный торф с высокой степенью разложения.

Цель работы – изучение влияния разного соотношения торф : экстрагент (от 1:5 до 1:50) на выход ГВ и технологические показатели их экстракции.

Использовали низинный тростниково-осоковый торф месторождения Гало-Ковалевское со степенью разложения (R) 35 %, зольностью (A) 11,3 %, pH в KCl 5,2 и верховой сосново-пушицевый торф месторождения Радемье (R = 50 %, A = 3,3 %, pH в KCl 3,2).

Содержание углерода органического вещества (ОВ), определенное серно-хромовым методом [7], составило в низинном торфе 55,4 %, в верховом – 62,6 %. Более высокое содержание углерода в верховом торфе объясняется его более высокой степенью разложения и повышенным содержанием битумоидов, что вообще типично для высокоразложившегося верхового торфа [2, 8].

Оценка показателей технологического процесса экстракции ГВ выполнена для реактора периодического действия емкостью 1,6 м³ с учетом допустимого коэффициента загрузки. Постоянными условиями экстракции были концентрация едкого натра (2 %), температура 96–98 °C и продолжительность экстракции 2 ч. При этих условиях модуль был переменной величиной: 1:5, 1:7, 1:10, 1:25 и 1:50.

Оценка эффективности процесса экстракции осуществлялась по следующим показателям: количество ГВ, получаемое за один технологический цикл, выход ГВ из сырья, концентрация ГВ в получаемом растворе, удельный расход торфа, воды, едкого натра и тепла в расчете на 1 кг полученных ГВ. Здесь и далее во всех расчетах учитывалась масса сухих ГВ. Результаты представлены в табл. 1–3.

Из данных табл. 1 видно, что с увеличением модуля масса загружаемого в реактор торфа 40 %-ной условной влажности снижается с 334 кг

при модуле 1:5 до 33 кг при модуле 1:50, количество загружаемой в реактор воды с торфом снижается с 134 до 14 кг, а расход технологической воды возрастает с 866 до 986 кг. Модуль не влияет на количество загружаемого в реактор едкого натра, так как во всех вариантах ГВ экстрагировали 2 %-ным NaOH. Соответственно загрузке модуль экстракции ГВ влияет на соотношение сухого вещества NaOH и торфа. При модуле 1:5 это соотношение составляет 0,1, а при модуле 1:50 оно возрастает до 1,03. Это связано с тем, что при всех модулях концентрация щелочного реагента остается неизменной – 2 %, а объем экстрагента, приходящийся в реакторе на

каждый килограмм торфа, существенно возрастает с увеличением модуля экстракции.

Затраты тепла на нагревание торфощелочной суспензии мало уменьшаются с увеличением модуля от 1:5 до 1:50, так как общий объем суспензии при этом также изменяется мало.

При вышеописанных условиях четко прослеживается влияние модуля на концентрацию ГВ в получаемом растворе, на количество ГВ, переходящих в раствор, их потери с остатком торфа после центрифугирования и на выход ГВ (табл. 2).

Таблица 1. Влияние модуля экстракции ГВ на количество загружаемого в реактор сырья, воды, едкого натра и затраты тепла на нагревание суспензии

Модуль	Масса торфа 40 %-ной влажности	Масса воды, вносимой с торфом	Масса технологической воды	Масса едкого натра	Суммарная масса суспензии в реакторе, кг	Соотношение NaOH : торф, кг/кг	Затраты тепла на нагревание суспензии, МДж
	кг						
1:5	334	134	866	20	1220	0,10	386
1:7	239	96	904	20	1163	0,14	379
1:10	167	67	933	20	1120	0,20	373
1:25	67	27	973	20	1060	0,50	365
1:50	33	14	986	20	1039	1,03	362

Таблица 2. Влияние модуля на концентрацию ГВ, их выход из сырья и потери

Модуль	Концентрация ГВ в растворе, %	Количество ГВ, перешедшее в раствор		Потери ГВ с остатком торфа		Выход ГВ за один технологический цикл, кг
		кг	% к ОВ торфа	кг	%	
Низинный торф						
1:5	7,0	70,3	43,0	40,6	57,7	29,7
1:7	6,9	68,8	54,1	30,1	43,8	38,6
1:10	5,0	49,7	55,9	11,4	23,0	38,3
1:25	2,2	22,0	61,6	3,5	16,1	18,5
1:50	1,2	11,5	65,5	0,5	4,6	11,0
Верховой торф						
1:5	8,8	88,1	45,5	53,8	61,1	34,3
1:7	8,6	86,4	62,3	41,4	47,9	45,0
1:10	6,4	63,9	66,0	17,9	28,0	46,0
1:25	2,8	28,1	72,3	5,5	19,6	22,6
1:50	1,5	14,6	76,4	0,8	5,6	13,8

Наибольшая концентрация ГВ в экстракте получается при модуле 1:5, однако при центрифугировании суспензии отделяется менее 40 % жидкой фазы, остальная часть перешедших в раствор ГВ (более 60 %) удерживается остатком торфа, т. е. идет в отходы производства. С увеличением модуля происходит снижение концентрации ГВ в получаемом экстракте с одновременным увеличением объема экстракта. Количество ГВ, перешедших в экстракт, в расчете на ОВ торфа возрастает, постепенно приближаясь к их содержанию в торфе.

При увеличении модуля от 1:7 до 1:50, несмотря на возрастание выхода ГВ из сырья в расчете на ОВ торфа, наблюдается существенное снижение массы ГВ, переходящих в раствор, из-за уменьшения количества загружаемого в реактор сырья с 239 до 33 кг. Снижение модуля до 1:5 по-разному влияет на количество ГВ, переходящих в раствор: при экстракции низинного торфа оно возрастает до 70,3 кг по сравнению с 68,8 кг, получаемых при модуле 1:7, а при экстракции верхового торфа этот показатель составляет 88,1 и 86,4 кг соответственно. Такие

различия связаны с генетическими особенностями этих двух видов сырья: верховой торф имеет более высокую степень разложения, его ГВ, сформированные в условиях кислой среды (рН торфа 3,3), не связаны с двух- и трехвалентными ионами металлов, поэтому они сравнительно легко переходят в раствор 2 %-ного NaOH при модуле 1:7 (в экстракт переходит 62,3 % на ОВ торфа).

При центрифугировании торфощелочной суспензии часть раствора ГВ неизбежно удерживается остатком торфа вследствие его высокой влагоемкости и удаляется из технологического процесса вместе с отходами производства. Эти ГВ представляют собой технологические потери. При прочих равных условиях технологические потери ГВ в виде их раствора, удерживаемого остатком торфа после центрифугирования, зависят от качества центрифугирования торфощелочной суспензии, влагоемкости остатка торфа и от его количества. Последнее связано с модулем: чем он меньше, тем больше остаток торфа и тем больше технологические потери ГВ (табл. 2). В каждом конкретном случае потери ГВ следует учитывать отдельно. В условиях наших экспериментов потери ГВ изменяются с увеличением модуля от 57,7 до 4,6 % от общего количества ГВ, перешедших в раствор, для низинного торфа и от 61,1 до 5,6 % – для верхового.

Наибольший и практически одинаковый выход ГВ за один технологический цикл получается при модулях 1:7–1:10. Преимуществом модуля 1:7 является возможность получения более концентрированных экстрактов ГВ по сравнению

с модулем 1:10. Существенным недостатком модуля 1:7 является более высокий расход сырья на получение ГВ по сравнению с модулем 1:10. Производители должны сами решать, какой модуль им использовать в зависимости от того, что является для них приоритетным – концентрация получаемых растворов ГВ или экономия сырья.

При модуле 1:5 выход ГВ за один технологический цикл получается на 16–30 % меньше по сравнению с модулем 1:7–1:10 за счет увеличения технологических потерь. При модуле 1:25 снижается цикловой выход ГВ в 2 раза, а при модуле 1:50 – в 3,3–3,5 раза по сравнению с модулем 1:7–1:10 из-за малого количества сырья, загружаемого в реактор.

В табл. 3 представлены технологические показатели эффективности процесса экстракции ГВ. Несмотря на увеличение технологических потерь ГВ, общее количество сухой массы ГВ, переходящих в экстракт, за один технологический цикл при модуле 1:5 получается больше, чем при модулях 1:7–1:50. Это объясняется тем, что при малых модулях в реактор загружается значительно больше сырья, чем при больших. С увеличением модуля экстракции удельный расход торфа на получение 1 кг сухих ГВ снижается для низинного торфа с 11,2 кг при модуле 1:5 до 3,0 кг/кг при модуле 1:50; для верхового торфа с 9,7 до 2,4 кг/кг соответственно. Это связано с тем, что при повышении модуля возрастает полнота извлечения ГВ из сырья: для низинного торфа с 43,0 до 65,5 %, для верхового – с 43,5 до 76,4 %. С точки зрения экономии сырья низкие модули невыгодны.

Таблица 3. Влияние модуля на технологические показатели эффективности процесса экстракции ГВ из торфа

Показатель	Модуль				
	1:5	1:7	1:10	1:25	1:50
Низинный торф					
Количество ГВ, перешедшее в раствор, кг	70,3	68,8	49,7	22,0	11,5
Выход ГВ за один технологический цикл, кг	29,7	38,6	38,3	18,5	11,0
Концентрация ГВ в растворе, %	7,0	6,9	5,0	2,2	1,2
Удельный расход торфа, кг/кг ГВ	11,2	6,2	4,4	3,6	3,0
Удельный расход воды, кг/кг ГВ	29,2	23,5	24,4	52,6	89,6
Удельный расход NaOH, кг/кг ГВ	0,67	0,52	0,52	1,08	1,82
Удельный расход тепла, МДж/кг ГВ	13,0	9,82	9,74	19,73	32,91
Верховой торф					
Количество ГВ, перешедшее в раствор, кг	88,1	86,4	63,9	28,1	14,6
Выход ГВ за один технологический цикл, кг	34,3	45,0	46,0	22,6	13,8
Концентрация ГВ в растворе, %	8,8	8,6	6,4	2,8	1,5
Удельный расход торфа, кг/кг ГВ	9,7	5,3	3,6	3,0	2,4
Удельный расход воды, кг/кг ГВ	25,2	20,1	20,3	43,1	71,4
Удельный расход NaOH, кг/кг ГВ	0,58	0,44	0,43	0,88	1,45
Удельный расход тепла, МДж/кг ГВ	11,25	8,42	8,12	16,15	26,23

Удельный расход воды на получение 1 кг ГВ наименьший при модулях 1:7 – 1:10 (23,5–24,4 кг/кг для низинного торфа и 20,1–20,3 кг/кг – для верхового). При уменьшении модуля до 1:5 или его увеличении до 1:25–1:50 удельный расход воды повышается, особенно сильно при больших модулях (до 89,6 кг/кг для низинного торфа и до 71,4 кг/кг – для верхового).

Удельный расход едкого натра также минимальен при модулях 1:7–1:10 как для низинного, так и для верхового торфа. При снижении или увеличении модуля удельный расход едкого натра возрастает, например, при модуле 1:50 более чем в 3 раза.

Удельный расход тепла на получение 1 кг ГВ также наименьший при модулях 1:7–1:10 и составляет от 9,74 до 9,82 МДж для низинного торфа, от 8,12 до 8,42 МДж – для верхового. При уменьшении модуля до 1:5 удельный расход тепла возрастает до 13,0 МДж для низинного торфа и до 11,25 МДж – для верхового. Увеличение

модуля до 1:25–1:50 повышает удельный расход тепла на получение 1 кг ГВ в 2–3 раза по сравнению с модулем 1:7–1:10.

Полученные результаты позволяют утверждать, что модули 1:7–1:10 наиболее выгодны из-за экономии реагентов и тепла, а также для получения концентрированных растворов ГВ. Недостатком модуля 1:5 является образование в реакторе слишком густой суспензии, что сильно ухудшает гидродинамические условия технологического процесса: затрудняет перемешивание, делает невозможным перекачку суспензии в приемную емкость и подачу ее на центрифугу. В связи с этим модуль 1:5 не может быть рекомендован для экстракции ГВ в реакторах. Для экстракции ГВ из торфа наиболее благоприятны значения модуля между 1:7 и 1:10. Применять модули более 1:10 нецелесообразно из-за ухудшения технологических показателей и снижения эффективности экстракции ГВ.

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов, Н. Н. Влияние условий экстракции гуминовых веществ из торфа на удельные затраты реагентов и тепла / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Природопользование: экология, экономика, технологии : материалы Междунар. науч. конф. Минск, 2010. С. 14–19.
2. Белькевич, П. И. Воск и его технические аналоги / П. И. Белькевич, Н. Г. Голованов. Минск, 1980.
3. Гаврильчик, А. П. Превращения торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. Минск, 1992.
4. Драгунов, С. С. Органо-минеральные удобрения и химическая характеристика гуминовых кислот // Гуминовые удобрения: Теория и практика их применения / С. С. Драгунов. Харьков, 1957. С. 11–18.
5. Кухаренко, Т. А. Основы производства гуминовых кислот / Т. А. Кухаренко, С. А. Шапиро // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Харьков, 1957. С. 39–45.
6. Наумова, Г. В. Биологически активные вещества торфа и продуктов его переработки / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование. 2002. Вып. 8. С. 144–153.
7. Пономарева, В. В. Серно-хромовый метод одновременного определения С и N / В. В. Пономарева, Т. А. Николаева // Почвоведение. 1961. № 5. С. 88.
8. Раковский, В. Е. Битумы твердого топлива // Краткая химическая энциклопедия / В. Е. Раковский. М., 196. Т. 1. С. 442.
9. Bambalov N. The use of peat as a raw material for chemistry today and in future / N. Bambalov, D. Clarke, A. Tomson and G. Sokolov; Proceeding of the 13-th International Peat Congress. Tullamore, Ireland, 2008. P. 316–319.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 21.03.2012

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович, Г. П. Бровка

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗНЫХ СООТНОШЕНИЯХ ТОРФА И ЭКСТРАГЕНТА

Изучено влияние разного соотношения торф : экстрагент (1:5, 1:7, 1:10, 1:25 и 1:50) на выход гуминовых веществ (ГВ) и технологические показатели процесса их экстракции. Оценка эффективности процесса экстракции осуществлялась по следующим показателям: количество ГВ, получаемое за один технологический цикл, выход ГВ из сырья, концентрация ГВ в получаемом

растворе, удельный расход торфа, воды, едкого натра и тепла в расчете на 1 кг ГВ. Показано, что модули 1:7–1:10 наиболее выгодны из-за экономии реагентов и тепла, а также для получения концентрированных растворов ГВ. Недостатком модуля 1:5 является образование в реакторе слишком густой суспензии, что сильно затрудняет перемешивание, делает невозможным ее перекачку в запасные емкости и подачу на центрифугу, а также большие потери ГВ с остатком торфа. Поэтому модуль 1:5 не может быть рекомендован для экстракции ГВ в реакторах. Для экстракции ГВ из торфа наиболее благоприятны значения модуля между 1:7 и 1:10. Применять модули более 1:10 нецелесообразно из-за снижения эффективности экстракции ГВ.

N. N. Bambalov, V. V. Smirnova, A. S. Nemkovich, G. P. Brovka

**TECHNOLOGICAL INDICATORS OF HUMIC SUBSTANCES EXTRACTION EFFICIENCY
PROCESS AT DIFFERENT PEAT AND EXTRACTING AGENT PROPORTIONS**

The influence of different proportion peat Vs extracting agent (1:5, 1:7, 1:10, 1:25 and 1:50) on the outcome of humic substances (HS) and technological indicators of their extraction process has been studied. The estimation of the efficiency of extraction process was carried out on the following indicators: the HS quantity obtained for one work cycle, HS outcome from raw materials, HS concentration in the solution obtained, the specific expense of peat, water, caustic soda and heat calculated per 1 kg of HS. It is shown that modules 1:7–1:10 are most effective because of economy of reagents and heat, and also because of resulting a concentrated HS solutions. The drawback of module 1:5 is a formation in the reactor of too a dense suspension, that strongly complicates hashing, makes impossible its swapping in spare capacities and supply to the centrifuge, and also big HS losses with the peat rest. That is why the module 1:5 cannot be recommended for HS extraction in reactors. To extract HS from peat optimum values of the module are between 1:7 and 1:10. To apply modules above 1:10 is not purposeful due to inefficiency of HS extraction.

УДК 631.8

**О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов, И. В. Симакина,
Е. Н. Сосновская, Е. С. Стельмах**

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ТОРФА, ВЫДЕЛЕННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

Проведена сравнительная оценка биологической активности гуминовых веществ (ГВ), выделенных из разных типов торфа в различных условиях. По итогам суммарной оценки показателей все гуминовые препараты оказывали стимулирующее действие на развитие растений. Максимальную биологическую активность в опытах проявила водная вытяжка из низинного торфа, полученная при 96 °C. Выявлена узкая направленность стимулирующего действия промышленных гуминовых препаратов: на энергию прорастания и всхожесть семян эффективнее влияли препараты β-гумин, гидрогумин и оксигумат, а на морфологию проростков – α- и β-гумин, оксидат торфа и оксигумат, экстракт водорослей.

Многочисленные физиолого-биохимические, почвенные, агрохимические и полевые исследования свидетельствуют о том, что органическое вещество торфа является источником не только элементов минерального питания растений, но и различных метаболитов, химически и особенно физиологически активных веществ [1]. К активаторам или регуляторам роста растений относят гуматы [2–4, 6]. Содержание ГВ в торфе колеблется в широких пределах и связано с условиями и природой его образования. Содержание ГВ возрастает при увеличении степени разложения торфа [5].

Цель работы – оценка биологической активности ГВ, выделенных из торфа разного генезиса различными экстрагентами в разных условиях. В качестве базиса для сравнения были взя-

ты промышленные гуминовые препараты-стимуляторы роста растений, представленные на рынке республики. Полная и всесторонняя оценка эффективности последних в задачи исследования не входила.

Исследовались верховой пущево-сфагновый торф ОАО «Зеленоборское», месторождение Радемье, верховой сфагновый торф предприятия РПУ «Докшицырайгаз», месторождение Сидень, низинный осоково-тростниковый торф бывшего т/п «Сергеевичское» (служба производства торфяной продукции УП «Мингаз»), месторождение Гало-Ковалевское, а также осоковый торф ОАО «Усяж», месторождение Гайно-Бродня, торфоучасток Юрьево. Их общетехническая и агрохимическая характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Общетехническая и агрохимическая характеристика исследуемого торфа

Тип торфа, месторождение	R, %	рН	A ^c , %	Содержание валовых форм, % на а.с.м.			Содержание подвижных форм, мг/кг а.с.м.			
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄
Верховой, Радемье	30	2,8	5,5	1,66	0,36	0,01	Не определялись			
Верховой, Сидень	15	2,9	3,5	1,30	0,25	Следы	–	27,3	–	Следы
Низинный, Гало- Ковалевское	35	4,7	17,9	2,78	0,72	0,07	40,0	10,0	50,0	34,0
Низинный, Гайно-Бродня	20	7,2	26,1	2,28	0,40	0,01	44,1	11,1	86,8	8,56

В качестве экстрагентов применялись: дистиллированная вода, 0,1 Н NaOH и 0,1 М Na₄P₂O₇.

Абсолютно сухие навески торфа заливали экстрагентами в соотношении 1:50, тщательно взбалтывали и оставляли на 18–20 ч при температуре 20 °C, затем отфильтровывали через бумажный фильтр. Второй ряд навесок также заливали экстрагентами в том же соотношении 1:50 и

после тщательного взбалтывания выдерживали в течение 1 ч на кипящей водяной бане при температуре 96 °C. В полученных вытяжках определяли концентрацию ГВ весовым методом и на основании полученных данных готовили 0,01 %-ные рабочие растворы ГВ. Подопытные культуры – ячмень сорта «Атаман», пшеница яровая сорта «Рассвет» и кукуруза сорта «Родник-1».

Рабочие концентрации растворов промышленных гуминовых препаратов гидрогумин, гидрогумат, оксигумат, оксидат торфа, гумин и экстракт водорослей – 0,01 %; 0,005 и 0,001 % ГВ, подопытные культуры – пшеница яровая сорта «Рассвет» и ячмень сорта «Атаман», условия опыта те же.

Семена в чашках Петри обрабатывали 10 мл полученных растворов и помещали в термостат при температуре 20 °C для пшеницы и ячменя и 25 °C для кукурузы. Повторность опыта 3-кратная. Контрольный вариант обрабатывался 10 мл дистиллированной H₂O. На 3-й день эксперимента определялись всхожесть и энергия прорастания семян, на 7-й – их морфологические характеристики: средняя длина ростков и корней, количество и суммарная длина корней.

Вышеуказанные концентрации промышленных гуминовых препаратов также испытывались в опыте с водной культурой люпина кормового сорта «Первоцвет». Емкость сосуда – 0,5 л, абсолютный контроль – дистиллированная вода, фон – смесь Прянишникова, повторность опыта 4-кратная, количество растений – 5 шт./сосуд, длительность опыта – 3 недели.

Результаты опытов с торфом приведены в табл. 2.

Экстракты из образцов торфа со степенью разложения 30 и 35 % положительно воздействовали на все изучаемые показатели, в то время как показатели в вариантах с применением экстрактов из торфа со степенью разложения 15 и 20 % в основном были ниже контрольных.

Для торфа со степенью разложения 30 и 35 % наилучшее воздействие на всхожесть и энергию прорастания семян испытуемых культур оказали водные экстракты, независимо от вида торфа. Превышение над контролем достигало 33–34 %. Щелочная вытяжка из верхового торфа хорошо воздействовала на кукурузу (всхожесть и энергия прорастания возрастили на 4–27 %).

Влияние вида экстрагента на морфологические характеристики проростков было неоднозначным. Так, на длину ростков и количество корней лучше влияли щелочная и пирофосфатная вытяжки, а на суммарную и среднюю длину корней – преимущественно водная. На лучших вариантах длина ростков и корней возрастила по сравнению с контролем на 35–37 %, а количество корней – на 81 %.

Для торфа со степенью разложения 15 и 20 % лучшими по влиянию на всхожесть и энергию прорастания семян испытуемых культур оказались водные и щелочные экстракты.

На морфологические характеристики проростков лучше воздействовали щелочные вытяжки из верхового торфа и пирофосфатные – из низинного.

Для торфа со степенью разложения 30 и 35 % всхожесть и энергия прорастания семян

были выше при применении ГВ, выделенных из низинного торфа (превышение над контролем на 33–34 %).

Влияние типа торфа на морфологические характеристики проростков также было неоднозначным. Так, на длину ростков пшеницы и кукурузы лучше влияли экстракты из верхового торфа, а на ячмень – экстракты из низинного торфа. Длину и количество корней кукурузы сильнее увеличивали вытяжки из верхового торфа, пшеницы – вытяжки из низинного, а на длину и количество корней ячменя вид торфа заметного влияния не оказывал.

Для торфа со степенью разложения 15 и 20 % всхожесть и энергия прорастания семян в большинстве вариантов были выше при применении ГВ, выделенных из низинного торфа.

Морфологические характеристики проростков пшеницы были лучше при применении ГВ, выделенных из низинного торфа, кукурузы – выделенных из верхового торфа, а у ячменя вытяжки из низинного торфа лучше влияли на длину корней, в то время как на их количество и длину ростка лучше влияли вытяжки из верхового торфа.

По итогам суммарной оценки всех показателей максимальную биологическую активность в опыте проявила водная вытяжка из низинного торфа, полученная при 96 °C. В дальнейшем для получения более полной и достоверной картины необходимо исследовать торф верхового и низинного видов с разной степенью разложения и разным ботаническим составом.

Результаты опыта с промышленными гуминовыми препаратами и их характеристики приведены в табл. 3 и 4.

На энергию прорастания пшеницы в целом лучше влияли растворы с более высокой концентрацией ГВ – почти все виды препаратов оказали стимулирующее действие на проростки.

При сравнении действия разных концентраций растворов по каждому препарату индивидуально стимулирующее действие было максимальным для концентрации 0,005 %. Только для оксидата и экстракта водорослей лучшей оказалась концентрация 0,01 %.

Наиболее эффективными оказались гидрогумин и оксигумат.

На всхожесть пшеницы также лучше влияли растворы с более высокой концентрацией ГВ, но разница между вариантами концентраций была меньше, чем для энергии прорастания. В линейке вариантов опыта с концентрацией ГВ 0,01 % лучшим оказался гидрогумин, при более низких концентрациях ГВ – гидрогумат.

Таким образом, выраженное стимулирующее действие на энергию прорастания и всхожесть пшеницы проявили гидрогумин, оксигумат, β-гумин и гидрогумат.

Таблица 2. Влияние биологической активности ГВ торфа на всхожесть и морфологию растений, % к контролю

Место- рожде- ние	Экстрагент	Ячмень				Пшеница				Кукуруза			
		Всхо- жесть	Сред- няя длина ростка	Сред- няя длина корней	Сум- марная длина корней	Всхо- жесть	Сред- няя длина ростка	Сред- няя длина корней	Сум- марная длина корней	Всхо- жесть	Сред- няя длина ростка	Сред- няя длина корней	Сум- марная длина корней
Радемье	H ₂ O (20 °C)	111,5	82,3	123,0	121,8	100,4	107,1	63,4	58,8	103,0	102,4	85,1	97,7
	H ₂ O (96 °C)	101,9	92,1	108,0	110,1	100,4	112,3	63,9	65,8	109,4	101,5	123,4	205,7
	0,1 н NaOH (20 °C)	88,7	82,9	100,4	101,9	96,9	103,9	84,2	61,6	126,8	96,3	112,7	162,2
	0,1 н NaOH (96 °C)	115,6	91,3	103,5	92,8	89,9	134,6	93,3	80,5	103,5	106,9	108,7	143,2
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (20 °C)	99,2	81,9	116,3	108,7	94,3	133,3	832,4	70,6	77,9	83,9	65,9	88,6
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (96 °C)	109,1	83,6	105,0	100,6	96,1	112,3	85,4	80,4	98,9	96,8	81,2	116,7
Сидень	H ₂ O (20 °C)	101,1	84,8	108,8	101,2	80,3	84,4	120,0	110,7	96,3	131,1	153,7	313,6
	H ₂ O (96 °C)	99,7	99,0	124,6	121,3	89,8	68,7	92,3	61,9	97,8	162,7	156,6	333,0
	0,1 н NaOH (20 °C)	103,7	114,6	149,6	137,8	96,8	81,4	106,5	82,1	102,2	129,3	167,6	288,0
	0,1 н NaOH (96 °C)	95,0	110,9	143,3	141,5	91,4	76,0	98,6	88,6	101,6	123,4	161,8	303,1
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (20 °C)	101,1	107,6	117,0	108,7	72,9	74,1	81,0	68,7	96,3	112,3	101,1	192,8
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (96 °C)	100,4	116,1	98,8	90,8	80,8	70,2	65,8	53,3	100,8	113,9	109,9	228,0
Гало- Кова- левское	H ₂ O (20 °C)	115,6	94,3	144,7	149,1	115,4	96,2	109,4	102,0	103,5	98,9	69,2	89,2
	H ₂ O (96 °C)	122,4	92,2	98,1	91,7	104,0	106,0	122,8	122,8	133,8	93,1	120,3	164,0
	0,1 н NaOH (20 °C)	114,6	97,6	103,2	99,3	109,5	109,8	126,6	135,2	88,4	82,7	92,4	88,8
	0,1 н NaOH (96 °C)	116,0	89,0	95,0	103,5	102,0	100,8	87,8	89,9	102,4	99,5	80,1	101,7
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (20 °C)	118,7	89,4	114,8	109,9	100,5	102,6	100,5	93,4	105,9	110,2	87,0	148,4
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (96 °C)	112,3	108,9	96,5	97,2	108,5	124,6	110,1	118,9	103,5	98,0	83,7	127,9
Гайно- Бродня	H ₂ O (20 °C)	104,4	100,1	113,4	105,3	92,9	95,5	94,3	70,7	195,5	126,0	118,0	198,2
	H ₂ O (96 °C)	103,0	97,2	121,6	114,0	101,2	86,6	106,7	100,8	102,2	111,3	109,3	212,9
	0,1 н NaOH (20 °C)	102,2	96,7	142,4	129,2	83,9	81,4	94,3	77,9	96,3	128,5	73,2	127,4
	0,1 н NaOH (96 °C)	100,8	97,8	146,3	128,7	72,6	86,5	85,4	70,3	94,8	106,4	73,2	94,2
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (20 °C)	103,3	120,1	126,5	118,9	77,2	97,7	83,2	74,4	100,8	117,5	97,8	238,1
	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ (96 °C)	96,1	113,1	123,3	114,9	78,8	91,7	109,9	110,3	99,3	144,0	120,6	251,7

Таблица 3. Характеристика промышленно выпускаемых гуминовых препаратов

Препарат	pH	Сухое вещество (СВ), %	Органическое вещество (ОВ), %	Массовая доля ГВ, %	Массовая доля механических примесей, %
Гидрогумин	8,2	6,10	5,2	48,9 на СВ	0,27
Гидрогумат	12,6	10,42	6,6	55,8 на ОВ	0,27
Оксигумат	12,5	9,60	7,9	56,8 на ОВ	–
Оксидат	11,4	4,06	2,9	50,9 на СВ	0,02
α-гумин*	10,5	–	–	1,0 на ОВ	0,12
β-гумин*	4,3	–	–	1,0 на ОВ	0,10
Экстракт водорослей	6,7	2,50	1,6	–	–

* Препараты были специально приготовлены с заданным содержанием ГВ 1 % для проведения опытов.

Таблица 4. Влияние биологической активности ГВ промышленных гуминовых препаратов на всхожесть и морфологию растений, % к контролю

Концен-трация ГВ, %	Препарат	Пшеница				Ячмень			
		Всхо-жесть	Сред-няя длина ростка	Сред-няя длина корней	Сум-мар-ная длина корней	Всхо-жесть	Сред-няя длина ростка	Сред-няя длина корней	Сум-мар-ная длина корней
0,01	Гидрогумин	107,3	86,0	103,9	89,8	79,9	115,4	115,9	115,2
	Гидрогумат	93,3	97,4	101,2	91,7	97,9	111,5	113,0	105,7
	Оксигумат	101,3	98,0	94,8	94,4	95,5	118,8	116,1	113,4
	Оксидат	97,3	104,6	103,5	96,3	89,9	101,9	118,3	101,5
	α-гумин	98,8	104,6	107,6	97,2	97,4	96,2	101,4	108,0
	β-гумин	104,0	108,0	127,7	117,5	91,5	94,2	102,9	114,2
	Экстракт водорослей	98,2	102,0	124,4	114,4	84,0	109,6	111,6	109,3
0,005	Гидрогумин	101,3	115,4	106,0	94,4	82,5	78,8	104,3	92,7
	Гидрогумат	103,6	120,0	104,5	93,6	82,0	109,6	112,3	101,1
	Оксигумат	98,6	111,0	106,8	95,3	72,0	117,3	110,1	99,3
	Оксидат	94,2	101,4	109,5	97,1	97,0	115,4	110,1	102,5
	α-гумин	94,6	108,6	120,7	104,8	79,5	103,8	100,0	90,5
	β-гумин	88,4	103,4	105,8	87,9	88,9	109,6	111,6	104,5
	Экстракт водорослей	98,2	119,4	127,7	119,7	93,4	113,5	111,6	109,8
0,001	Гидрогумин	97,3	100,6	100,0	88,4	63,4	103,8	104,3	95,2
	Гидрогумат	99,6	105,4	110,9	97,5	79,0	103,8	102,9	91,1
	Оксигумат	95,1	122,6	123,1	111,0	85,5	103,8	116,6	110,9
	Оксидат	83,8	126,0	119,0	101,1	89,9	103,8	107,2	102,5
	α-гумин	99,2	109,4	118,8	99,7	84,4	86,5	98,6	94,8
	β-гумин	87,5	102,0	112,0	93,2	88,9	100,0	98,6	94,5
	Экстракт водорослей	99,2	104,0	140,9	108,2	88,9	80,8	85,3	90,5

На морфологию проростков пшеницы лучше влияли препараты в более низких концентрациях. Так, во всех вариантах опыта с концентрациями 0,005 и 0,001 % длина ростков была больше контрольной на 0,6–22,6 %, а наиболее эффективным оказался оксидат в концентрации 0,001 %. При концентрации 0,01 % стимулирующее действие проявляли лишь α- и β-гумины, оксидат и экстракт водорослей.

На среднюю длину корней положительно влияли все препараты в концентрациях 0,005 и 0,001 % (превышение над контролем до 40,9 % для 0,001 % экстракта водорослей), при концен-

трации 0,01 % – все, кроме оксигумата. Лучшим при этой концентрации был экстракт водорослей (превышение над контролем – 24,4 %).

На суммарную длину корней наиболее сильное стимулирующее действие оказывали α- и β-гумины, оксигумат и экстракт водорослей, причем последние – во всех концентрациях. Максимальное превышение над контролем по этому показателю отмечено при концентрации экстракта водорослей 0,005–19,7 %.

Среднее количество корней во всех вариантах опыта было ниже контроля, лучшим оказался оксигумат в концентрации 0,01 %.

Гидрогумин оказывал угнетающее действие в концентрации 0,01 % на все морфологические параметры проростков, в концентрациях 0,005 и 0,001 % – на количество и суммарную длину корней.

У ячменя на все определяемые показатели, кроме количества корней, лучше влияли растворы с концентрацией ГВ 0,01 %.

Энергия прорастания и всхожесть по всем вариантам опыта были ниже контроля.

В линейке вариантов опыта с концентрацией ГВ 0,01 % лучшими оказались гидрогумат и оксигумат, при более низких концентрациях ГВ – β-гумин.

По всхожести в ряду вариантов опыта с концентрацией ГВ 0,01 % лучшим оказался гидрогумат, при более низких концентрациях ГВ – оксидат.

Оксигумат эффективно увеличивал длину ростка и среднюю длину корней пшеницы – соответственно на 28,8 и 26,1 % выше контроля. На их суммарную длину лучше влиял гидрогумин, а на количество – водоросли.

Таким образом, по результатам опыта выявлена сравнительно узкая направленность стимулирующего действия промышленных гуминовых препаратов: на энергию прорастания и всхожесть лучше влияли β-гумин, гидрогумин, оксигумат, а на морфологию проростков – экстракт водорослей, α- и β-гумины, оксидат и оксигумат. Также для различных сельскохозяйственных культур наиболее эффективными оказывались разные препараты.

Результаты опыта с люпином в водной культуре приведены в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительная оценка промышленных гуминовых препаратов и их влияния на морфологию люпина в смеси Прянишникова, % к фону

Концентрация ГВ, %	Препарат	Средняя сырья масса растения	Средняя сухая масса растения	Средняя длина корней	Выживаемость проростков	Сумма показателей биоактивности
0,01	Фон + гидрогумин	104,7	121,3	79,4	187,5	123,3
	Фон + гидрогумат	78,8	131,1	64,8	112,5	96,8
	Фон + оксигумат	91,8	123,0	63,9	162,5	110,3
	Фон + оксидат	43,5	96,7	57,9	75,0	68,3
	Фон + α-гумин	111,8	137,7	85,4	150,0	118,0
	Фон + β-гумин	99,4	106,6	76,4	112,5	106,0
	Фон + экстракт водорослей	92,9	121,3	74,2	150,0	109,6
0,005	Фон + гидрогумин	90,6	116,4	74,7	112,5	98,6
	Фон + гидрогумат	82,4	126,2	66,1	100,0	93,7
	Фон + оксигумат	110,6	139,3	79,4	178,5	135,5
	Фон + оксидат	95,3	130,8	73,0	87,5	101,1
	Фон + α-гумин	102,4	104,9	83,3	166,7	114,3
	Фон + β-гумин	108,2	137,7	87,7	162,5	121,5
	Фон + экстракт водорослей	84,7	132,8	63,1	162,5	110,8
0,001	Фон + гидрогумин	105,9	131,1	81,1	125,0	110,8
	Фон + гидрогумат	97,6	116,4	65,7	175,0	113,7
	Фон + оксигумат	118,8	147,5	91,0	175,0	133,1
	Фон + оксидат	103,5	126,2	83,0	162,5	116,3
	Фон + α-гумин	98,8	116,4	79,2	137,5	106,7
	Фон + β-гумин	112,9	127,9	84,5	175,0	125,1
	Фон + экстракт водорослей	91,8	123,0	67,8	175,0	114,4

В опыте на среднюю величину зеленой массы растений в целом лучше влияли растворы с концентрацией 0,001 %. Для α-гумина и экстракта водорослей лучшей оказалась концентрация 0,01 %. Максимальное влияние на этот показатель отмечено для оксигумата – 118,8 % относительно фона, минимальное – для экстракта водорослей и гидрогумата при всех концентрациях растворов. При концентрации 0,01 % луч-

шим был α-гумин, при 0,005 % – оксигумат (соответственно 111,8 и 110,6 % относительно фона).

Средняя сухая масса растений – единственный показатель, по которому в целом лучшей оказалась концентрация препаратов в 0,005 %. Вариант с оксидатом в этой концентрации был лучше фона на 50,8 %, однако при концентрации раствора 0,01 % оксидат оказал угнетающее действие на растения. По сумме всех трех концентраций лучшим по этому показателю был ок-

сигумат. Среди вариантов с концентрацией растворов 0,01 % максимальный положительный эффект проявлял а-гумин, в ряду с 0,001 % – оксигумат (соответственно 137,7 и 147,5 % относительно фона).

Средняя длина корней у всех растений была ниже контрольной, а лучшим оказался вариант с оксигуматом в концентрации 0,001 %.

Выживаемость проростков люпина определяли по истечении трех недель ведения опыта в неоптимальных по температурному режиму и освещенности условиях по отношению количества выживших растений каждого варианта к их исходному количеству.

Выживаемость проростков была выше контроля во всех вариантах опыта, кроме вариантов с оксидатом в концентрациях 0,01 и 0,005 %. Лучшим оказался оксигумат в концентрации 0,005 % – на 112,5 % выше фона. При концентрации 0,01 % гидрогумин показал превышение над фоном 87,5 %. В линейке вариантов с концентрацией растворов 0,001 % выше фона на 75,0 % оказались β-гумин, гидрогумат, оксигумат и экстракт водорослей. В целом на выживаемость проростков лучше всего влияли оксигумат и экстракт водорослей.

Интегрированный индекс – сумму показателей биоактивности – определяли для каждого

варианта по отношению к фону, т. е. смеси Прянишникова, в %.

По сумме показателей биоактивности лучшей была концентрация растворов 0,001 %, худшей – 0,01 %. В целом в линейке вариантов с концентрацией растворов 0,001 % лучшим оказался гидрогумин (123,3 % относительно фона), в линейках с 0,005 и 0,001 % – оксигумат (соответственно 135,5 и 133,1 % относительно фона). Сумма показателей биоактивности гидрогумата при концентрациях 0,01 и 0,005 % оказалась ниже фона. Оксидат также оказывал угнетающее действие на проростки при концентрации 0,01 %.

Таким образом, по результатам опыта с водной культурой люпина лучшим препаратом оказался оксигумат в концентрациях 0,01 и 0,005 %, наименее эффективным – оксидат в концентрации 0,01 %.

По итогам суммарной оценки всех показателей максимальную биологическую активность в опыте проявила водная вытяжка из низинного торфа, полученная при 96 °С. Также выявлена узкая направленность стимулирующего действия промышленно выпускаемых гуминовых препаратов: на энергию прорастания и всхожесть лучше влияли β-гумин, гидрогумин, оксигумат, а на морфологию проростков – экстракт водорослей, α- и β-гумины, оксидат и оксигумат.

Литература

1. Власюк, П. А. Значение некоторых метаболитов и органических веществ для улучшения условий питания растений / П. А. Власюк, А. Д. Хоменко, П. П. Мельничук // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3.
2. Лукьяненко, Н. В. Влияние гуматов на жизнедеятельность, морфогенез и урожай пожнивной кукурузы / Н. В. Лукьяненко // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3.
3. Лукьяненко, Н. В. Влияние физиологически активных веществ на физиологико-биохимические процессы гороха / Н. В. Лукьяненко, П. М. Федорченко // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1973. Ч. 4.
4. Ронсаль, Г. А. Физиологическая активность гуминовых веществ перегноя / Г. А. Ронсаль, В. А. Жминько // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3.
5. Тишкович, А. В. Свойства торфа и эффективность его использования на удобрение / А. В. Тишкович. Минск, 1978.
6. Христева, Л. А. Применение гумата натрия в качестве стимулятора роста / Л. А. Христева [и др.] // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1973. Ч. 4.

О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов,
И. В. Симакина, Е. Н. Сосновская, Е. С. Стельмакх

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ТОРФА, ВЫДЕЛЕННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ**

Проведена сравнительная оценка биологической активности гуминовых веществ (ГВ), выделенных из разных типов торфа в различных условиях. По итогам суммарной оценки показателей все гуминовые препараты оказывали стимулирующее действие на развитие растений. Для каждой из исследованных сельскохозяйственных культур большую эффективность проявляли разные препараты.

Максимальную биологическую активность в опытах с торфом проявила водная вытяжка из низинного торфа, полученная при 96 °C. Также экстракты из торфа со степенью разложения 30 и 35 % были более эффективными, чем экстракты из торфа со степенью разложения 15 и 20 %.

Выявлена узкая направленность стимулирующего действия промышленных гуминовых препаратов: на энергию прорастания и всхожесть семян эффективнее влияли препараты β-гумин, гидрогумин и оксигумат, а на морфологию проростков – α- и β-гумин, оксидат торфа и оксигумат, экстракт водорослей. На большинство исследуемых показателей лучше воздействовали растворы с концентрацией ГВ 0,01 %.

O. G. Krasnoberskaya, G. A. Sokolov,
I. V. Simakina, E. N. Sosnovskaya, E. S. Stelmakh

**COMPARATIVE ESTIMATION OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF
HUMIC SUBSTANCES OF PEAT EXTRACTED BY VARIOUS WAYS**

A comparative estimation of biological activity of humic substances (HS), extracted from different types of peat in various conditions has been made. Regarding a total estimation of indicators, all humic preparations made a stimulating effect on plants development. For each of the investigated agricultural crops the greater efficiency revealed different preparations.

The maximum biological activity in peat tests showed a water extract from low-mire peat obtained at 96 °C. The extracts from peat of decomposition degree 30 and 35 % were also more effective, than those of decomposition degree 15 and 20 %.

A narrow orientation of stimulating action of industrial humic preparations was revealed: the energy of germination and seeds germinating capacity were more effectively influenced by preparations β-gumin, hydrogumin and oxigumin, and the morphology of sprouts – by α- and β-gumin, peat oxidat and oxigumat, seaweed extract. The majority of investigated indicators was better influenced by solutions of 0,01 % HS concentration.

УДК 353.97:553.973

Т. Я. Кашинская, Б. В. Курзо, Н. В. Шевченко**ПОЛУЧЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТОРФЯНОГО И САПРОПЕЛЕВОГО СЫРЬЯ**

Показана возможность использования метода термобарохимической обработки сырья водным раствором амиака, эффективного в случае торфа, для получения гуминовых препаратов из различных типов сапропеля (органический, железистый, кремнеземистый). Оценены качественные характеристики гуминовых препаратов, выделенных из торфяного и сапропелевого сырья Гомельской области, как стимуляторов роста растений, красящих и антикоррозионных веществ.

Эффективное освоение природных ресурсов предполагает их комплексное использование, создание технологий, позволяющих наиболее полно реализовывать потенциальные возможности сырья. Наличие широкой гаммы химических соединений в составе торфа и сапропеля дает возможность рассматривать их как ценное химическое сырье для разных отраслей промышленности. Кроме того, различные приемы модификации еще более расширяют область использования продуктов, получаемых на основе этих видов сырья.

Сложность и разнообразие химического состава различных видов торфа и типов сапропеля требуют тщательного подбора сырья при производстве того или иного вида продукции на их основе.

Большой класс материалов может быть получен на основе гуминового комплекса торфа. К их числу относится торфяной краситель для древесины, химических волокон, тканей, кож, ингибитор коррозии, лекарственные средства, поглотители вредных веществ, в том числе радионуклидов, из газовых и водных сред, биостимуляторы и ростовые вещества, удобрительные смеси и мелиоранты, реагенты для бурения скважин и производства строительных материалов.

При получении торфяных гуминовых препаратов различного целевого назначения, как правило, производят то или иное модификацию гуминового комплекса торфа для увеличения выхода и усиления полезных свойств препарата.

Разработана технология термохимического модификации гуминовых веществ торфа амиаком, которая приводит к увеличению выхода гуминовых веществ и концентрации получаемого продукта [7]. К тому же гуминовый препарат приобретает ряд ценных качественных свойств, позволяющих эффективно использовать его в различных направлениях. Такие модифицированные амиаком гуминовые кислоты проявляют повышенную способность пассивировать процесс коррозии металлов и могут быть использованы для получения на их основе средств для борьбы с этим явлением. Они дают хороший защитный эффект при использовании в составе преобразователей ржавчины и консервационных составах [2].

Крашение древесины при изготовлении мебели производится для выявления текстуры и усиления естественной окраски, выравнивания тона и имитации малоценных пород под ценные. Наряду с синтетическими анилиновыми красителями для этой цели применяются природные красители на основе гуминовых кислот каустобиолитов. Модифицирование гуминовых кислот торфа обработкой водным раствором амиака при повышенных температуре и давлении позволяет получить гуминовый краситель значительно более высокого качества по сравнению с ранее применявшимся гуматом натрия. Происходящая при модификации дезагрегация молекул гуминовых кислот, уменьшение их молекулярной массы, возрастание числа функциональных групп, в частности, азотсодержащих хромофорных групп, позволяет получать препараты с высокой красящей способностью. По качеству и свойствам получаемый таким способом краситель по праву относится к лучшим образцам природных пигментов: светостоек, хорошо прокрашивается древесину, контрастно проявляет ее текстуру, не мигрирует в отделочные материалы, не обладает кожнораздражающим действием, смешивается с синтетическими красителями, что позволяет получать большое разнообразие оттенков. Более того, данный препарат является эффективным красителем коричневой гаммы для текстильных и кожевенных изделий [3].

В проявлении биологической активности гуминовых веществ важная роль отводится функциональным группам, в первую очередь карбоксильным и фенольным гидроксилам, которые определяют ионообменные и сорбционные свойства этих соединений [4]. Наибольшей физиологической активностью обладают ароматизированные фракции торфяных гуминовых кислот, содержащие больше фенольных гидроксилов и хиноидных группировок [1,10]. Модификация торфа амиаком позволяет получить высокоэффективный биологически активный препарат, отличающийся небольшим содержанием боковых цепей, наличием большого количества функциональных групп, способных к взаимодействию с металлами, азотсодержащих ароматических структур, склонных к комплексообразованию, обогащенный физиологически ак-

тивными меланоидинами, пектинами и аминокислотами.

Этот торфяной препарат, обладающий комплексным действием, проявляющий высокую биологическую активность и комплексообразующую способность по отношению к металлам, послужил основой для создания концентрированных жидких гуминовых удобрений с микроэлементами. Концентрации компонентов в их составе таковы, что позволяют при разбавлении 1 л удобрения в 200 раз производить некорневую подкормку 1 га посевов в оптимальных для микроэлементов и стимуляторов роста концентрациях и количествах [5].

Следует отметить, что в связи с разнообразием видов торфа, а следовательно, их химического состава, требуется подбор сырья для получения препаратов нужного качества.

Известно использование сапропеля в качестве удобрения в сельском хозяйстве, зачастую более эффективное, чем торфа, из-за более высокого содержания в его составе азота, фосфора, аминокислот и микроэлементов [6]. Ранее исследована возможность применения органического сапропеля оз. Судобль в качестве сырья для получения регулятора роста растений методом кислотно-щелочного гидролиза [8]. Выделенный препарат показал более высокую биологическую активность, чем аналогичный, полученный из торфа.

В связи с необходимостью комплексного освоения сырьевого потенциала Гомельской области были проведены исследования по определению возможности использования запасов тор-

фа и сапропеля для получения гуминовых препаратов. Стояла дополнительная задача выяснения принципиальной возможности использования эффективной для торфов технологии термобарохимической обработки водным раствором аммиака для выделения гуминовых препаратов применительно к сапропелю.

На торфяных месторождениях «Урочище Берин», «Милошевичи», «Топиловское» Лельчицкого района были отобраны образцы торфа и оценено их качество как сырья для получения гуминового препарата многоцелевого назначения. Кроме того, для оценки возможности получения такого гуминового препарата были использованы образцы сапропеля различных типов. На оз. Прибыловичи Лельчицкого района отобран кремнеземистый сапропель ($A^c = 53,1\%$), на оз. Дикое Петриковского района – органический ($A^c = 31,3\%$) и железистый ($A^c = 47,6\%$).

Поскольку основу препаратов составляют гуминовые вещества, для отобранных образцов торфа и сапропеля был определен выход гуминовых кислот согласно ГОСТ 9517-94 на определение гуминовых кислот в составе твердых топлив. Сущность метода заключается в обработке аналитической пробы торфа или сапропеля, высушенной до воздушно-сухого состояния и измельченной до размеров частиц менее 1 мм, щелочным раствором пирофосфата натрия, последующей экстракции пробы раствором гидроксида натрия, осаждении гуминовых кислот избытком минеральной кислоты и определении массы полученного осадка. В табл. 1 представлены полученные данные.

Таблица 1. Общетехническая характеристика образцов торфа и сапропеля и содержание в них гуминовых кислот

№ пробы	Название объекта	Глубина отбора, м	Вид торфа, тип сапропеля	Степень разложения, %	Влажность, %	Зольность, %	ГК, % на о.в.
1	Т.м. «Урочище Берин»	0,1–0,5	пушицево-сфагновый	20	81,0	6,2	37,5
2	Т.м. «Урочище Берин»	0,5–1,0	пушицевый	45–50	85,8	3,2	54,4
3	Т.м. «Урочище Берин»	1,0–1,7	сосново-пушицевый	50–55	85,2	2,9	42,0
4	Т.м. «Милашевичи», т.уч. Прибыловичи	0,4–0,8	тростниково-осоковый	35–40	71,0	14,1	53,3
5	Сапропель, оз. Прибыловичи	–	кремнеземистый	–	82,6	53,1	13,6
7	Сев.-зап. т. уч. т. м. «Топиловское»	0,5–1,0	осоковый	20	65,1	3,4	50,3
8	Сапропель, оз. Дикое	–	органический	–	89,3	31,3	–
9	Сапропель, оз. Дикое	–	железистый	–	87,2	47,6	–

Технология получения гуминового препарата многоцелевого назначения из торфа включает в себя следующие стадии:

1. Термобарохимическая обработка образцов водным раствором аммиака при температуре 130–150 °С в течение 2–4 ч при массовом соотношении торф: 1 %-ный раствор аммиака – 1: (9–11).

Условия обработки варьируют в зависимости от вида торфяного сырья и назначения препарата.

2. Разделение суспензии аммонизированного торфа на центрифуге с получением в фугате раствора гуминового препарата, а в осадке – остатка аммонизированного торфа. Последний эффективно может быть использован в каче-

стве удобрения либо компонента почвогрунта, либо связующей добавки при получении формованной продукции из торфа, либо безглинистого бурового раствора.

Из образцов торфа и сапропеля выделение гуминового препарата производили в автоклаве при температуре 130 °С в течение 2 ч при соотношении торф: раствор аммиака – 1:10, считая на абсолютно сухое вещество. Полученную суспензию после охлаждения разделяли на лабораторной центрифуге (фактор разделения – 2000, продолжительность центрифугирования – 20 мин). Определяли выход и концентрацию полученного гуминового препарата (табл. 2).

Проведена оценка качественных характеристик полученных препаратов, их эффективность в качестве гуминового красителя, ингибитора коррозии и стимулятора роста растений.

Качество красителей оценивается комплексным показателем, так называемой красящей способностью, которая представляет собой отношение оптической плотности к концентрации раствора. В случае гуминовых красителей, получаемых на основе твердых топлив, красящая способность определяется как отношение оптической плотности раствора при разбавлении в 400 раз при длине волны 465 нм (440 нм) к концентрации сухого вещества в его составе, умноженное на 1000. Краситель считается хорошего качества, если красящая способность выражается числом более 100. Оптическая плотность вещества обусловлена наличием хромофорных групп в его составе. В частности, в случае гуминовых веществ их оптическую плотность связывают с количественным содержанием в составе молекул ароматических фрагментов и функциональных групп. Разный исходный растительный материал и условия торфообразования обуславливают и неоднородный состав молекул гуминовых кислот различных торфов. В соответствии с этим оптические свойства гуминовых кислот торфов различного ботанического состава могут существенно разниться. Как правило, гуминовые кислоты верховых торфов характеризуются повышенной долей ароматических структур и большим количеством фенольных гидроксилов в составе их молекул, что и обуславливает более высокие величины оптической плотности растворов гуминовых кислот, получаемых из верховых торфов. Этим обстоятельством и объясняется предпочтительное использование в качестве сырья для получения торфяных гуминовых красителей торфов верхового типа.

С целью оценки возможности использования гуминовых препаратов, выделенных из исследуемых образцов торфа и сапропеля, в качестве гуминового красителя определена их красящая способность. В табл. 2 представлены полученные данные. Высокая оптическая плотность гуминовых препаратов, выделенных из пущи-

вого, R – 45–50 % (проба № 2) и сосново-пушицевого, R – 50–55 % (проба № 3) торфов позволяет рассматривать эти виды торфа как очень перспективное сырье для получения торфяного гуминового красителя, так как выделяемые методом термобарохимической обработки аммиаком из этих торфов препараты имеют высокую красящую способность (140 и 167 соответственно). Гуминовые препараты, полученные из кремнеземистого сапропеля (оз. Прибыловичи), как и из органического и железистого сапропеля (оз. Дикое Петриковского района), обладают невысокой красящей способностью, что связано в первую очередь с невысокой оптической плотностью их гуминовых веществ, так как известно, что молекулы гуминовых кислот сапропелей в отличие от таковых торфов характеризуются меньшей степенью ароматичности. В составе молекул гуминовых кислот сапропелей преобладают алифатические структуры [9].

Полученные методом термобарохимической обработки гуминовые препараты были также испытаны на анткоррозионную защитную способность. Испытания проводили на металлических стальных пластинах марки 10 согласно методу испытаний ингибиторов коррозии для водных систем (ГОСТ 9.502-82). Использовались 0,2 %-ные водные растворы гуминовых препаратов. Для определения анткоррозионной способности взвешенные металлические пластинки погружали в опытные растворы таким образом, что бы верхний мениск раствора был выше верхнего торца пластины не менее, чем на 1 см. Параллельно ставился на испытания образец в водопроводную воду (контроль). Продолжительность испытаний – 15 сут. После окончания опыта образцы промывались в проточной воде, подвергались травлению, промывке (этиловый спирт: эфир = 1:1) и сушке. Оценку защитных свойств проводили весовым методом по потере массы пластинок в сравнении с таковой в холостом опыте.

Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют о том, что гуминовые препараты проявляют защитную анткоррозионную активность. Наиболее эффективными препаратами являются выделенные из кремнеземистого (оз. Прибыловичи) и железистого (оз. Дикое) сапропеля, так как при применении этих препаратов степень поражения коррозией стальных пластин примерно на половину меньше, чем в контрольной среде. Гуминовые препараты, полученные из торфа, проявили не столь существенную степень защиты.

Биологическую активность выделенных гуминовых препаратов оценивали как по определению энергии прорастания и всхожести семян различных культур, замоченных в разбавленных растворах исследуемых препаратов, так и методом водных культур по показателям накопления массы корней и проростков.

Таблица 2. Характеристика гуминовых препаратов

Наименование образцов	Общий выход, % на с.в.	Выход фугата, % от суспензии	Концентрация, % на с.в.	Зольность ГП, %	Оптическая плотность	Красящая способность	Коррозия	
							г/м ²	%
Пушицево-сфагновый, R – 20 % (№ 1)	58,1	52,6	5,2	1,20	0,381	73	8,43	70,0
Пушицевый, R – 45–50 % (№ 2)	50,1	59,6	4,5	1,21	0,631	140	9,55	79,3
Сосново-пушицевый, R – 50–55 % (№ 3)	52,3	60,8	4,7	1,29	0,788	167	–	–
Тростниково-осоковый, R – 35–40 % (№ 4)	61,2	56,1	5,5	7,36	0,399	72	–	–
Осоковый, R – 20 % (№ 7)	50,1	38,4	4,5	2,80	0,271	60	9,80	81,5
Сапропель кремнеземистый (оз. Прибыловичи (№ 5))	11,1	49,5	1,0	8,03	0,058	58	6,20	51,6
Сапропель органический (оз. Дикое)	26,3	64,2	2,4	12,20	0,219	91	9,30	77,3
Сапропель железистый (оз. Дикое)	23,6	65,5	2,1	12,84	0,209	99	6,98	58,0
Контроль	–	–	–	–	–	–	12,03	100

Энергию прорастания оценивали как по определению количества проросших семян для ржи и ячменя на 3-и сутки, а кукурузы – на 4-е сутки, так и сырой массе проростков. Всходесть определена по количеству проросших семян на 7-е сутки. Для замачивания семян при определении энергии прорастания использовались различные концентрации гуминовых препаратов: от 0,01 % до 0,001 %. Помимо гуминовых препаратов, выделенных методом термобарохимической обработки торфа водным раствором аммиака, определялась биологическая активность гуминовых кислот, выделенных из образцов торфа и сапропеля согласно ГОСТ на определение гуминовых кислот в твердых топливах, а именно извлеченных из образцов пирофосфатом натрия и гидрокисью натрия. В табл. 3 представлены полученные данные.

В случае ячменя применение гуминовых препаратов, полученных из сосново-пушицевого торфа (проба № 3), из кремнеземистого сапропеля (проба № 5, оз. Прибыловичи) и железистого сапропеля (оз. Дикое) методом термобарохимической обработки образцов водным раствором аммиака в концентрации 0,01 %, существенно увеличивает энергию прорастания и всхожесть семян (на 40–60 %). Препарат, полученный из пушицево-сфагнового торфа (проба № 1), напротив, в данной концентрации угнетает семена ячменя (табл. 3).

Испытанные на семенах озимой ржи препараты в концентрации 0,001 % не увеличивают энергию прорастания и всхожесть семян.

На семенах кукурузы оценивалось влияние на ростовые процессы как различных доз гуми-

новых препаратов, так и методов их получения (табл. 3). Заметное воздействие на энергию прорастания и всхожесть семян, определяемую как отношение количества проросших семян при замачивании в испытуемом растворе к количеству проросших при замачивании в воде, оказалось использование для этих целей 0,01 %-ных растворов. Однако не все гуминовые препараты были в одинаковой мере эффективны. По уровню положительного воздействия особенно выделяются гуминовые препараты, полученные на основе пушицевого, R – 45–50 % (проба № 2) и сосново-пушицевого, R – 50–55 % (проба № 3) торфов. Из гуминовых препаратов, полученных на основе сапропеля, заметное влияние на энергию прорастания и всхожесть семян кукурузы при концентрации 0,01% оказывает только препарат, полученный из железистого сапропеля (оз. Дикое). Гуминовые препараты, применяемые в концентрации 0,001%, заметно не влияют на энергию прорастания и всхожесть семян кукурузы, но увеличивают биомассу проростков. При этом наибольшее влияние оказали гуминовые препараты, выделенные из кремнеземистого (проба № 5, оз. Прибыловичи) и органического (оз. Дикое) сапропеля. В опытах с торфом более эффективными оказались гуминовые вещества, выделенные по стандартной методике пирофосфатно-щелочным методом, чем гуминовые препараты, полученные методом термобарохимической обработки образцов водным раствором аммиака. При этом наибольшую биологическую активность продемонстрировали гуминовые препараты из сосново-пушицевого, R – 50–55 % (проба № 3) и осокового, R – 20 % (проба № 7) торфов.

Таблица 3. Влияние гуминовых препаратов, выделенных из образцов торфа и сапропеля, на энергию прорастания и всхожесть семян

Наименование образцов	Ячмень			Рожь			Кукуруза				
	концен-трация препа-рата, %	энергия прораста-ния, % к контролю	всхо-жесть, % к контролю	концен-трация препа-рата, %	энергия прораста-ния, % к контролю	всхо-жесть, % к контролю	Метод выделе-ния	концен-трация препа-рата, %	энергия прораста-ния, % к контролю	биомасса, % к контролю	всхо-жесть, % к контролю
Пушицево-сфагновый, R – 20 % (№ 1)	0,01	53,8	51,2	–	–	–	1	0,01	97,0	–	108,0
								0,001	102,2	105,4	100
								0,001	97,7	115,2	97,9
Пушицевый, R – 45–50 % (№ 2)	0,01	92,4	95,1	0,001	90,5	96,0	1	0,01	130,3	–	127,0
								0,001	97,7	107,6	100
								0,001	95,6	111,9	100
Сосново-пушицевый, R – 50–55 % (№ 3)	0,01	138,5	148,7	–	–	–	1	0,01	133,3	–	124,3
								0,001	100	114,2	102
								0,001	100	123,9	97,9
Тростниково-осоковый, R – 35–40 % (№ 4)	–	–	–	–	–	–	1	0,001	97,8	105,4	102,1
Осоковый, R – 20 % (№ 7)	–	–	–	–	–	–	1	0,001	108,8	112,0	104,1
								0,001	97,8	125,0	95,8
Сапропель кремнеземистый (оз. Прибыловичи) (№ 5)	0,01	161,5	148,7	0,001	78,7	91,4	1	0,01	100	–	97,3
								0,001	95,5	127,2	95,8
								0,001	88,9	113,0	102,0
Сапропель органический (оз. Дикое)	0,01	89,7	117,1	–	–	–	1	0,01	90,9	–	105,4
								0,001	102,2	122,8	95,8
Сапропель железистый (оз. Дикое)	0,01	146,1	160,9	–	–	–	1	0,01	112,1	–	124,3
								0,001	97,8	103,3	97,9

Примечание. 1 – гуминовый препарат выделен методом термобарохимической обработки водным аммиаком; 2 – гуминовые вещества, выделенные согласно ГОСТ 95 17-94 «Методы определения выхода гуминовых кислот из твердых топлив».

Для испытания биологической активности препаратов использовали также метод водных культур на проростках озимой ржи. Для этого семена замачивали в воде в течение суток, далее наклонувшиеся семена раскладывали в бумажные рулоны и проращивали в термостате при температуре 22–24 °С трое суток. Бумажные рулоны ставились вертикально в стеклянные банки, в которые наливалась вода на 1–2 см ниже верхнего края рулона. По мере роста корневой системы уровень воды в банках понемногу снижался. При таком способе проращивания корешки семян направляются вертикально вниз, что облегчает их дальнейшую пересадку в сосуды для проведения испытания на биологическую активность методом водных культур. Проростки с достаточной длиной корней высаживали в стеклянные сосуды объемом 0,5 л, закрытые полиэтиленовыми крышками с отверстиями, по 12 проростков на сосуд. Повторность опыта четырехкратная. В качестве питательной среды применяли стандартную смесь Прянишникова (контрольный вариант) следующего состава: NH_4NO_3 – 0,12 г/л;

$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,103 г/л; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,06 г/л; KCl – 0,08 г/л; FeCl_2 – 0,012 г/л; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,177 г/л; вода дистиллированная.

В опытных вариантах к стандартной среде Прянишникова добавляли препараты до достижения концентрации 0,005 г/л.

Растения выращивали 14 суток при температуре 22–25 °С в фитотроне с фотопериодом 12/12, после чего определяли вес их корневой и надземной частей.

Как свидетельствуют полученные данные (табл. 4), положительный эффект от применения гуминовых препаратов наблюдается только на росте корней. Наиболее существенную прибавку обеспечивает гуминовый препарат, полученный из сосново-пушицевого торфа с R – 50–55 % (проба № 3), увеличивая прирост корней практически на 70 %. Следующим по эффективности является гуминовый препарат, выделенный из кремнеземистого сапропеля (проба № 5, оз. Прибыловичи), который увеличивает прирост корней на 25 %.

Таблица 4. Оценка биологического действия гуминовых препаратов (ГП) методом водных культур на озимой ржи

Вариант опыта	Стебли		Корни	
	г/растение	% к контролю	г/растение	% к контролю
Питательная среда – фон (контроль)	0,1807	100	0,0253	100
Фон + ГП из пушицево-сфагнового, R – 20 % торфа (№ 1)	0,1643	90,9	0,0272	107,5
Фон + ГП из пушицевого, R – 45–50 % торфа (№ 2)	0,1214	67,2	0,0236	93,3
Фон + ГП из сосново-пушицевого, R – 50–55 % торфа (№ 3)	0,1688	93,4	0,0429	169,6
Фон + ГП из сапропеля кремнеземистого (оз. Прибыловичи, № 5)	0,1533	84,8	0,0319	126,1
Фон + ГП из сапропеля органического (оз. Дикое)	0,1446	80,0	0,0267	105,1
Фон + ГП из сапропеля железистого (оз. Дикое)	0,1417	78,3	0,0253	116,6

Введение в смесь Прянишникова при выращивании озимой ржи гуминовых препаратов тормозит рост ее стеблей.

Полученные при выращивании озимой ржи по методу водных культур результаты, возможно, свидетельствуют о том, что либо озимая рожь не является достаточно отзывчивой культурой для испытания биологической активности, либо выбранная для испытания концентрация является не самой оптимальной, либо гуминовые препараты, способствуя образованию большого количества корней, обеспечат рост урожайности данной зерновой культуры в перспективе. Испытания эффективности гуминовых препаратов по определению энергии прорастания и всхожести семян на зернах озимой ржи также показали отрицательный результат, так как наи-

большее количество проросших зерен было зафиксировано при замачивании в воде (табл. 4).

Таким образом, проведенные исследования позволили определить возможность использования торфа и сапропеля месторождений Гомельской области для получения гуминовых препаратов многоцелевого назначения (гуминовый краситель, антакоррозионный препарат, биоактивный стимулятор роста растений). Показана применимость термобарохимического метода обработки сырья водным раствором аммиака, эффективного в случае торфа, для выделения гуминовых препаратов из сапропеля разного типа (органического, железистого, кремнеземистого). Оценены качественные характеристики полученных препаратов как стимуляторов роста растений, антакоррозионных и красящих веществ.

Литература

1. **Бямбагар, Б.** Взаимосвязь фрагментарного состава гуминовых кислот с их физиологической активностью / Б. Бямбагар [и др.] // Химия твердого топлива. 2003. № 1. С. 83–90.
2. **Гаврильчик, А. П.** Ингибиторы коррозии металла на основе гуминовых кислот торфа / А. П. Гаврильчик [и др.] // Торфяная промышленность. 1991. № 8. С. 30–33.
3. **Гаврильчик, А. П.** Торфяной краситель для текстильных материалов / А. П. Гаврильчик [и др.] // Торфяная промышленность. 1991. № 5. С. 31–34.
4. **Драгунов, С. С.** Химические характеристики гуминовых кислот и их физиологическая активность / С. С. Драгунов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1980. С. 5–22.
5. **Кашинская, Т. Я.** Комплексные жидкие гуминовые микроудобрения на основе гуминовых веществ торфа / Т. Я. Кашинская [и др.] // Фитогормоны, гуминовые вещества и другие биорациональные пестициды в сельском хозяйстве : материалы 7-й Междунар. конф. Radostim. Минск, 2011. С. 89–91.
6. **Лопотко, М. З.** Сапропели в сельском хозяйстве / М. З. Лопотко, Г. А. Евдокимова, П. Л. Кузьмицкий. Минск, 1992.
7. **Маль, С. С.** Низкотемпературная модификация торфа водными растворами аммиака / С. С. Маль, С. С. Поваркова, З. М. Сливка // Химия твердого топлива. 1982. № 5. С. 110–116.
8. **Наумова, Г. В.** Ресурсосберегающая переработка торфо-сапропелевых смесей для получения экологобезопасных регуляторов роста растений / Г. В. Наумова [и др.] // Природные ресурсы. 1997. № 2. С. 92–96.
9. **Сенькович, Л. П.** Особенности образования и структуры гуминовых кислот сапропелей различного генезиса / Л. П. Сенькович [и др.] // Химия твердого топлива. 1996. № 5. С. 19–25.
10. **Юдина, Н. В.** Оценка биологической активности гуминовых кислот торфов / Н. В. Юдина, С. И. Писарева, А. С. Саратиков // Химия твердого топлива. 1996. № 5. С. 31–34.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 5.03.2012

T. Я. Кашинская, Б. В. Курзо, Н. В. Шевченко

ПОЛУЧЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТОРФЯНОГО И САПРОПЕЛОВОГО СЫРЬЯ

С целью освоения минерально-сырьевых ресурсов Гомельской области исследована возможность получения гуминовых препаратов на основе торфяного и сапропелевого сырья этого региона.

Выделение гуминовых препаратов производилось обработкой образцов при повышенных температуре и давлении водным раствором аммиака. Ранее была показана эффективность такой обработки для получения гуминовых препаратов многоцелевого назначения (краситель для древесины, кожи и текстиля, антикоррозионное вещество, стимулятор роста растений) из торфяного сырья других регионов. Исследована применимость этой технологии для выделения гуминовых препаратов из сапропеля различного типа (органический, железистый, кремнеземистый).

Оценены качественные характеристики полученных на основе торфяного и сапропелевого сырья Гомельской области гуминовых препаратов как стимуляторов роста растений, антикоррозионных и красящих веществ.

T. Ya. Kashinskaya, B.V. Kurzo, N. V. Shevchenko

PRODUCTION OF HUMIC PREPARATIONS ON THE BASIS OF PEAT AND SAPROPEL RAW MATERIALS

For the purpose of the development of mineral-raw material resources of the Gomel region the possibility of humic preparations production on the basis of peat and sapropel raw materials of this region was investigated.

Humic preparations extraction was made by processing of samples at high temperature and pressure by aqueous solution of ammonia. Earlier the efficiency of such processing to produce humic preparations of universal purpose (dye for wood, leather and textiles, anticorrosive substance, plants growth stimulant) from peat raw materials from other regions has been shown. The applicability of this technology to extract humic preparations from sapropel of various type (organic, ferriferous, earth-silicon) was investigated.

Qualitative characteristics of the produced on the basis of peat and sapropel raw materials humic preparations of the Gomel region as plant growth stimulants, anticorrosive and dyeing substances were assessed.

В. В. Марыганова, Н. Н. Бамбалов, В. П. Стригуцкий, С. В. Пармон

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ТОРФА

С использованием гель-хроматографии, электронной спектроскопии в видимой области, ИК- и ЭПР-спектроскопии установлены различия в молекулярной структуре гуминовых кислот, выделенных двумя экстрагентами 0,1 M NaOH и 0,1 M Na₄P₂O₇ при pH = 7 из торфа, залегающего на разной глубине залежей различного генезиса.

В связи с высоким содержанием и широким спектром гуминовых веществ (ГВ) с разными химическим составом и свойствами торф является ценным сырьем для производства гуминовых препаратов различного назначения. Одним из основных критериев выбора торфа как сырья для производства гуминовых препаратов наряду с содержанием ГВ, особенно гуминовых кислот (ГК), являются их химический состав и молекулярная структура, поскольку от этого зависят реакционная способность, биологическая активность, сорбционные, ионообменные и другие ценные свойства гуминовых препаратов.

Немногочисленные литературные источники [5, 20, 22, 23] содержат противоречивые данные о химическом составе и молекулярной структуре ГК торфа, залегающего на разной глубине торфяных месторождений. Это связано с различными геоботаническими характеристиками исследуемых торфяных месторождений, неоднородностью ботанического состава и степени разложения торфа по глубине, а также с различиями в применяемых экстрагентах.

В ГК, выделенных из разных слоев (до 250 см) 6 разновидностей низинного торфа 0,25 M NaOH при трехкратном нагревании в течение 1,5 ч на водяной бане после удаления битумоидов и легкогидролизуемых веществ, с глубиной падает содержание углерода, водорода и метоксильных групп, растет количество азота, карбоксильных и карбонильных групп [5]. В ГК, выделенных тремя различными экстрагентами (0,5 M NaOH, 0,1 M Na₄P₂O₇ и их смесью) из 5 образцов сфагнового торфа, отобранных послойно от 9 до 43 см, с глубиной увеличивается содержание углерода, азота, карбоксильных групп и уменьшается количество кислорода и углеводов [22]. Комплексное изучение особенностей химической структуры ГК двух образцов торфа из поверхностного (до 60 см) и глубинного (60–350 см) слоев месторождения верхового типа, выделенных 0,1 M NaOH в атмосфере азота, показало, что ГК из глубины залежи характеризуются более высоким содержанием углерода и несколько более низким количеством водорода, азота и кислорода. Они имеют более высокое содержание ароматического углерода, большую

степень его конденсации, меньшее количество алкильного углерода и более высокое содержание кислых функциональных групп, особенно карбоксильных, по сравнению с ГК поверхностного слоя [20]. В работе [23] установлена более высокая степень ароматической конденсации ГК, выделенных смесью 0,5 M NaOH + 0,1 M Na₄P₂O₇ из глубинного слоя верхового торфяного месторождения, по сравнению с ГК поверхностного слоя. Однако связь между глубиной залегания и химической структурой ГК может быть установлена только у образцов торфа с близкими ботаническим составом и степенью разложения. В работах [20] и [23] торф из глубины залежи имел гораздо более высокую степень разложения по сравнению с поверхностным торфом, чем, вероятно, и объясняются установленные различия в химической структуре ГК.

Цель данной работы – изучение особенностей химической структуры ГК, выделенных 0,1 M NaOH и 0,1 M Na₄P₂O₇ при pH = 7 из торфа с разной глубины залежей различного генезиса.

ГК выделяли из двух верховых (Ореховский Мох и Дукора) и двух низинных (безымянных) месторождений в пойме р. Свислочь у д. Дукора и у д. Русаковичи. Образцы торфа отбирали из поверхностного (0–25 см), промежуточного (30–50 см) и глубинного (75–100 см) слоев каждого месторождения. Характеристика образцов торфа представлена в [12]. В пунктах бурения образцы торфа из разных слоев залежи имеют близкие ботанический состав и степень разложения.

Препараты ГК извлекали из отдельных навесок обезбитуминированных хлороформом образцов торфа 0,1 M NaOH (ГК) и 0,1 M Na₄P₂O₇ при pH = 7 (ГК₁) при 18–20 °C с модулем 1:50. Содержание органического углерода (C_{опр}) в торфе определяли методом мокрого сжигания с хромовым ангидридом [14], содержание ГК и ГК₁ проводили по методикам, описанным в [2]. Полученные препараты исследовали методами гель-хроматографии, электронной спектроскопии в видимой области, ИК- и ЭПР-спектроскопии.

Гель-хроматографию препаратов ГК и ГК₁ проводили на сепадексе G-100 фирмы Pharmacia (Швеция) с использованием в качестве элюента 0,1 н. LiOH. Относительное содержание фракций с

различными молекулярными массами (ММ) в препаратах определяли по площадям соответствующих пиков на гель-хроматограммах. Средневзвешенные ММ отдельных фракций рассчитывали по формуле Детермана [3].

Электронные спектры поглощения 0,01 %-ных растворов ГК и ГК₁ в 0,1 М NaOH регистрировали на спектрофотометре Specord M-40 (Германия) в диапазоне длин волн 400–700 нм в кварцевой ювете толщиной 1 см. Из полученных спектров определяли значения оптической плотности при 465 нм (D_{465}) и 650 нм (D_{650}) и вычисляли коэффициент цветности $Q_{4/6}$ как отношение D_{465}/D_{650} . ИК-спектры снимали на спектрометре Specord-80 (Германия) в таблетках с бромистым калием в диапазоне волновых чисел 4000–400 cm^{-1} .

Регистрация спектров ЭПР осуществлялась на модифицированном радиоспектрометре РЭ-1301, снабженном источником повышенной СВЧ-мощности (50 мВт). Интенсивность и параметры спектров ЭПР определялись при низких уровнях СВЧ-мощности (0,1 мВт), чтобы избежать насыщения сигнала. Для образцов с высокой интенсивностью сигнала выполнялась также регистрация при СВЧ-мощности 50 мВт, что позволяло существенно обогатить полученную информацию. Степень насыщения сигнала СВЧ-мощностью определялась по параметру A/A_0 , представляющему собой отношение амплитуд сигналов, снятых соответственно при 50 и 0,1 мВт. Для полностью ненасыщенных образцов A/A_0 должно быть ~20. Уменьшение параметра A/A_0 свидетельствует об увеличении насыщения сигнала СВЧ-мощностью.

Препараты ГК, выделенные 0,1 М раствором NaOH, содержат наиболее полный набор макромолекул, находящихся на разных стадиях «химической зрелости» [11]. ГК, выделенные нейтральным раствором пирофосфата натрия, представляют собой пирофосфатную фракцию ГК₁ торфа, которая является наиболее «химически зрелой» [1, 11]. Ее содержание в ГК обычно увеличивается с возрастанием степени разложения торфа [1].

Содержание ГК и ГК₁ зависит прежде всего от ботанического состава и степени разложения торфа, а также от глубины его залегания [5, 16]. Как следует из данных, представленных в табл. 1, наибольшее количество ГК содержат образцы верхового торфа месторождения Дукора (27–31 %), наиболее низкое – верховой торф месторождения Ореховский Мох (12–15 %). Содержание ГК₁ в торфе изменяется от 1,4 до 16,0 %. Процентное отношение ГК₁ к ГК характеризует долю пирофосфатной фракции в ГК. Наиболее высокая доля пирофосфатной фракции характерна для ГК осокового ($R = 30\%$) и древесно-растительногого ($R = 60–65\%$) видов торфа из поверхностных слоев низинных месторождений (56–60 %).

Количество ГК и ГК₁ в торфе из глубинного слоя залежей (75–100 см), находящегося в анаэробных условиях, ниже, чем в торфе из поверхностного аэрируемого слоя (0–25 см), особенно в месторождениях низинного типа. Существенно снижается с глубиной доля пирофосфатной фракции в ГК торфа. В промежуточном слое (30–50 см) в зависимости от гидрологического режима могут протекать как аэробные процессы, особенно в верхней его части, так и анаэробные – в нижней. Этот слой представляет собой смесь из торфа торфогенного и глубинного слоев, поэтому изменения в содержании и химической структуре ГК этого торфа не всегда подчиняются общей закономерности.

Характеристика молекулярно-массового распределения (ММР) препаратов ГК и ГК₁ дана на рис. 1 и в табл. 2. Кривые ММР ГК и ГК₁ торфа из различных слоев месторождения Ореховский Мох представлены на рис. 1. Анализ данных гель-хроматографии показал, что все исследуемые препараты характеризуются бимодальным распределением молекул, характерным для торфяных ГК. Наиболее высокомолекулярная фракция 1 выходит из колонки со свободным объемом элюата и имеет ММ $\geq 100\,000$. Фракция 2 имеет средневзвешенные ММ от 42 000 до 69 000.

Содержание фракции 1 в препаратах находится в широком интервале 5–66 %. Количество фракции 2 изменяется от 34 до 95 %. Самым высоким содержанием наиболее высокомолекулярной фракции 1 характеризуются ГК ангустифолиум-торфа ($R = 15\%$) из поверхностного слоя месторождения Ореховский Мох. ГК сосново-сфагнового торфа ($R = 30\%$) из поверхностного слоя месторождения Дукора также имеют в своем составе значительную высокомолекулярную составляющую. ГК из поверхностного слоя низинных месторождений имеют меньшую долю наиболее высокомолекулярной фракции 1 по сравнению с соответствующими ГК верховых месторождений.

В препаратах ГК₁ всех видов торфа содержание фракции 2 с меньшими ММ выше, часто значительно, чем в соответствующих ГК, что согласуется с результатами предыдущих исследований [1, 11].

Характер изменения ММР ГК и ГК₁ с глубиной залегания торфа одинаков для всех исследуемых месторождений. Наиболее высокомолекулярные препараты ГК и ГК₁ находятся в поверхностном слое торфа. С увеличением глубины его залегания содержание фракции 1 в обоих препаратах заметно снижается, а количество фракции 2 с меньшими ММ возрастает, часто с уменьшением ее средневзвешенной ММ. Например, при переходе от ГК ангустифолиум-торфа ($R = 15\%$) из поверхностного слоя месторождения Ореховский Мох к ГК магелланикум-торфа ($R = 10\%$) с глубины

30–50 см содержание фракции 1 уменьшается в 1,4 раза, а в ГК магелланикум-торфа ($R = 15\text{--}20\%$) из глубинного слоя залежи ее количество падает в 3 раза. Соответственно

увеличивается содержание фракции 2 (см. рис. 1 и табл. 2), а ее средневзвешенная ММ уменьшается с 69 000 до 46 820.

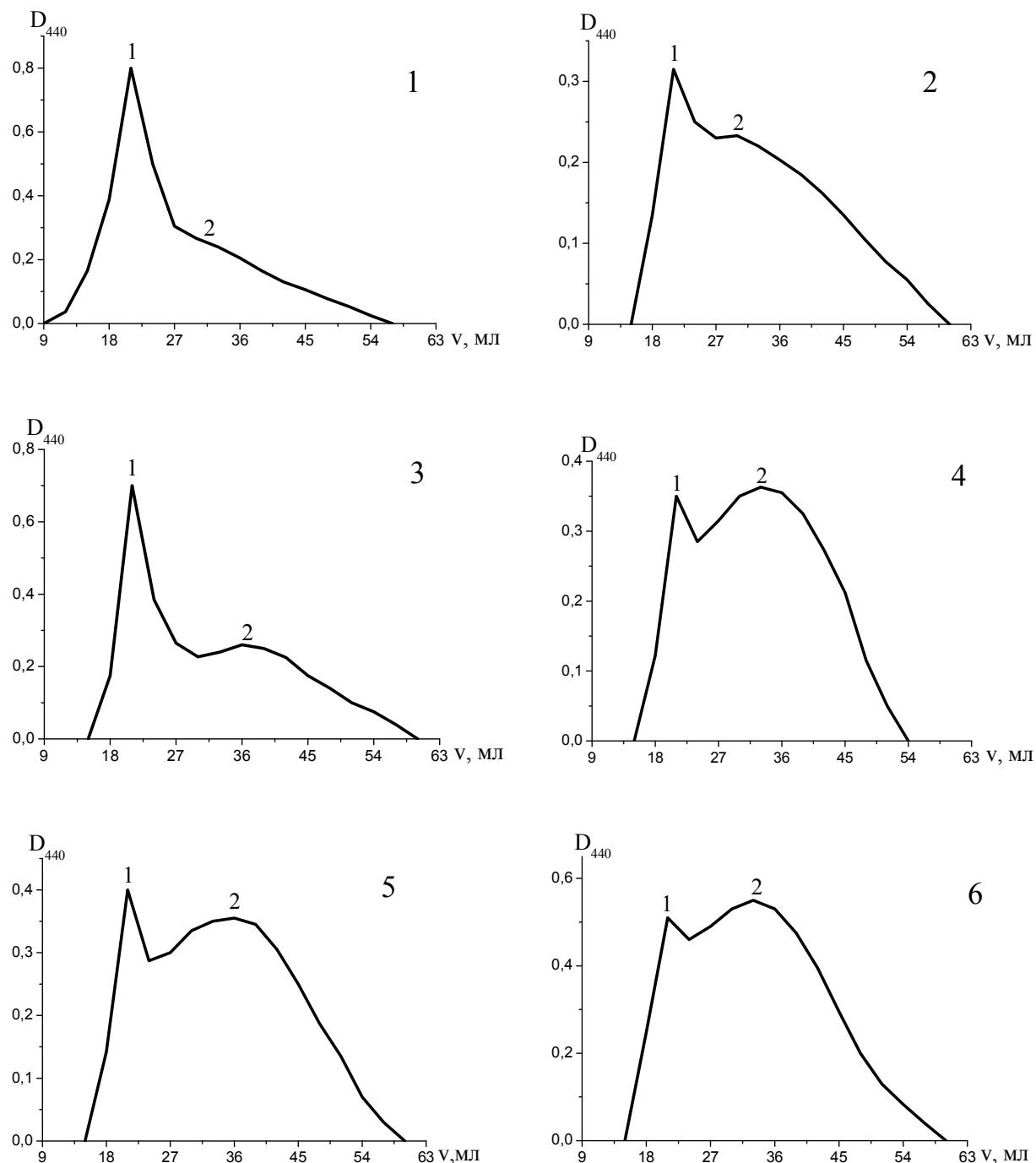


Рис. 1. Молекулярно-массовое распределение ГК (1, 3, 5) и ГК₁ (2, 4, 6) торфа из различных слоев месторождения Ореховский Мох: 1, 2 – 0–25 см; 3, 4 – 30–50 см; 5, 6 – 75–100 см

Таблица 1. Содержание и параметры электронных спектров поглощения ГК и ГК₁ торфа из различных слоев торфяных месторождений

Глубина, см	Вид торфа, степень разложения, %	Препарат	Содержание, С, % от С _{опр}	ГК ₁ , % от ГК	D ₄₆₅	D ₆₅₀	Q _{4/6}
Верховой торф, месторождение Ореховский Мох							
0–25	Ангустифолиум, 15	ГК	12,87	31,9	0,385	0,048	6,98
		ГК ₁	4,10		0,410	0,070	5,86
30–50	Магелланикум, 10	ГК	14,77	23,0	0,400	0,060	6,67
		ГК ₁	3,39		0,435	0,080	5,44
75–100	Магелланикум, 15–20	ГК	11,97	11,7	0,420	0,064	6,56
		ГК ₁	1,40		0,460	0,090	5,11
Верховой торф, месторождение Дукора							
0–25	Сосново-сфагновый, 30	ГК	28,52	41,0	0,450	0,085	5,29
		ГК ₁	11,70		0,545	0,105	5,19
30–50	Пушицево-сфагновый, 30–35	ГК	30,68	39,2	0,475	0,085	5,59
		ГК ₁	12,04		0,510	0,095	5,37
75–100	Пушицево-сфагновый, 30–35	ГК	26,66	28,3	0,555	0,100	5,55
		ГК ₁	7,54		0,560	0,107	5,23
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора							
0–25	Осоковый, 30	ГК	25,47	60,0	0,360	0,060	6,00
		ГК ₁	15,29		0,520	0,090	5,78
30–50	Древесно-осоковый, 40–45	ГК	29,26	54,8	0,385	0,065	5,92
		ГК ₁	16,03		0,605	0,120	5,04
75–100	Осоковый, 25	ГК	10,88	31,4	0,400	0,075	5,33
		ГК ₁	3,42		0,610	0,125	4,88
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи							
0–25	Древесно-тростниковый, 60–65	ГК	19,47	56,0	0,340	0,070	4,86
		ГК ₁	10,90		0,565	0,125	4,52
30–50	Тростниковый, 40–45	ГК	20,70	32,1	0,360	0,080	4,50
		ГК ₁	6,65		0,640	0,155	4,13
75–100	Тростниковый, 40	ГК	12,53	44,1	0,380	0,090	4,22
		ГК ₁	5,52		0,735	0,190	3,87

Таблица 2. Молекулярно-массовое распределение ГК и ГК₁ торфа из различных слоев торфяных месторождений

Глубина, см	Вид торфа, степень разложения, %	Препарат	Содержание, %		Вид торфа, степень разложения, %	Препарат	Содержание, %	
			фракция 1	фракция 2			фракция 1	фракция 2
Верховой торф, месторождение Ореховский Мох					Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора			
0–25	Ангустифолиум, 15	ГК	66	34	Осоковый, 30	ГК	30	70
		ГК ₁	25	75		ГК ₁	25	75
30–50	Магелланикум, 10	ГК	46	54	Древесно-осоковый, 40–45	ГК	27	73
		ГК ₁	15	85		ГК ₁	25	75
75–100	Магелланикум, 15–20	ГК	22	78	Осоковый, 25	ГК	23	77
		ГК ₁	10	90		ГК ₁	17	83
Верховой торф, месторождение Дукора					Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи			
0–25	Сосново-сфагновый, 30	ГК	47	53	Древесно-тростниковый, 60–65	ГК	36	64
		ГК ₁	24	76		ГК ₁	15	85
30–50	Пушицево-сфагновый, 30–35	ГК	35	65	Тростниковый, 40–45	ГК	28	72
		ГК ₁	21	79		ГК ₁	16	84
75–100	Пушицево-сфагновый, 30–35	ГК	28	72	Тростниковый, 40	ГК	24	76
		ГК ₁	12	88		ГК ₁	5	95

Характеристика электронных спектров поглощения в видимой области спектра препаратов ГК и ГК₁ приведена в табл. 1. Наиболее высокими значениями D₄₆₅ обладают ГК, выделенные из торфа верхового месторождения Дукора (0,450–

0,555). ГК малоразложившихся видов торфа верхового месторождения Ореховский Мох характеризуются более низкими значениями D₄₆₅ – 0,385–0,420. ГК низинных видов торфа обоих ме-

сторождений имеют еще более низкие значения оптической плотности (0,340–0,400).

Как и в предыдущих исследованиях [1, 11], для всех образцов торфа препараты ГК₁, выделенные нейтральным раствором пирофосфата натрия, характеризуются более высокими значениями оптической плотности D₄₆₅ и меньшими значениями Q_{4/6} по сравнению с препаратами ГК, выделенными раствором щелочи, что свидетельствует о более развитых системах полисопрежения в их макромолекулах [13]. Интересно отметить, что для верховых видов торфа различия в значениях D₄₆₅ между ГК и ГК₁ не столь значительны, как для низинных видов торфа, в которых значения D₄₆₅ препаратов ГК₁ в 1,5–1,9 раз превышают величины оптической плотности соответствующих ГК (см. табл. 1).

За редким исключением для ГК и ГК₁ торфа всех исследуемых торфяных месторождений наблюдается общая закономерность: увеличение величины оптической плотности препаратов с глубиной залегания исходного торфа, свидетельствующее о возрастании степени полисопрежения в их макромолекулах. При этом для препаратов ГК и ГК₁, выделенных из торфа низинных залежей, а также из торфа верхового месторождения Ореховский Мх наблюдается уменьшение коэффициента цветности, что может служить признаком увеличения доли конденсированных ароматических фрагментов в их структуре. Для препаратов из торфа верхового месторождения Дукора подобной тенденции не замечено.

ИК-спектры ГК и ГК₁ торфа из различных слоев верхового месторождения Дукора и низинного безымянного месторождения у д. Русаковичи даны на рис. 2 и 3. Они имеют характерный для ГК набор полос [15], однако позволяют выявить и некоторые особенности их химического строения, связанные с различной геоботанической природой торфа и глубиной его залегания. ГК верховых видов торфа месторождения Дукора отличаются значительным поглощением CH₂-CH₃-групп (2920–2860 см⁻¹). ИК-спектры ГК торфа низинных месторождений характеризуются сложной полосой поглощения в области 1600–1720 см⁻¹, включающей наряду с карбоксильными группами (1720 см⁻¹) и сопряженными двойными связями в ароматических структурах (1600 см⁻¹) расположенную между ними интенсивную полосу амид I (1650 см⁻¹). Значительное содержание полипептидных фрагментов в ГК низинных видов торфа подтверждается также наличием полосы амид II (1540 см⁻¹) в их ИК-спектрах.

Препараты ГК₁ всех видов торфа по сравнению с ГК характеризуются более интенсивным поглощением сопряженных двойных связей (1610 см⁻¹) и карбоксильных групп (1720 и 1260–1200 см⁻¹), а также более слабым поглощением насыщенных углеводородных (2920–2860 см⁻¹) и углеводных (1100–1000 см⁻¹) группировок, а в случае ГК₁ низинных видов торфа также низкой интенсивностью полосы амид I и почти полным отсутствием полосы амид II и поглощения моноароматических структур при 1510 см⁻¹.

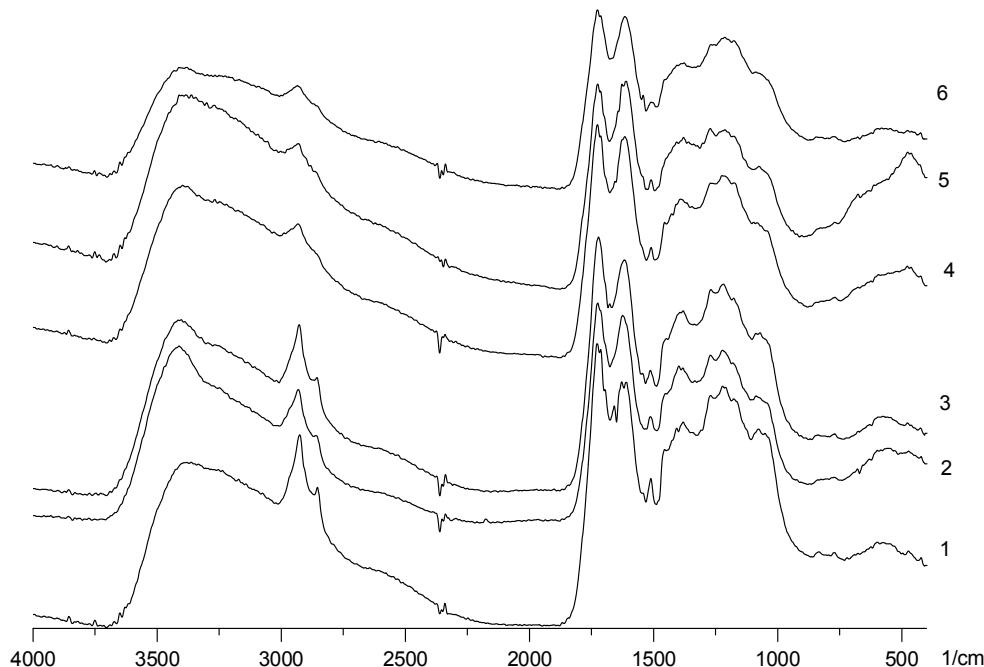


Рис. 2. ИК-спектры ГК (1–3) и ГК₁ (4–6) торфа из различных слоев месторождения Дукора:
1, 4 – 0–25 см; 2, 5 – 30–50 см; 3, 6 – 75–100 см

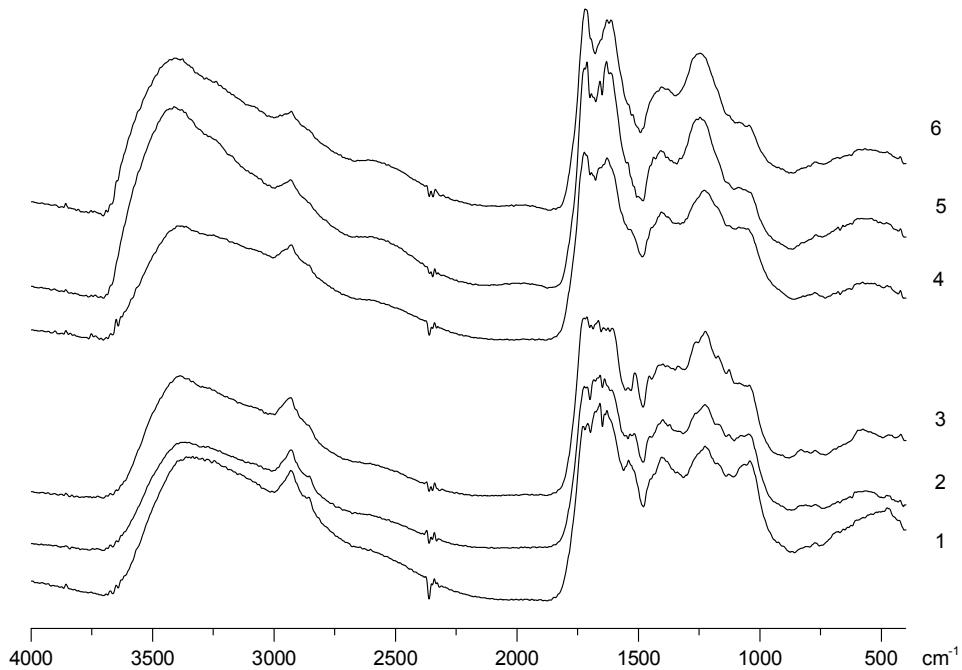


Рис. 3. ИК-спектры ГК (1–3) и ГК₁ (4–6) торфа из различных слоев безымянного месторождения у д. Русаковичи: 1, 4 – 0–25 см; 2, 5 – 30–50 см; 3, 6 – 75–100 см

Для всех исследуемых месторождений с увеличением глубины залегания торфа в ИК-спектрах ГК и ГК₁ уменьшается интенсивность поглощения CH₂- и CH₃-групп и углеводных фрагментов и увеличивается интенсивность поглощения сопряженных ароматических структур, особенно в случае низинных видов торфа. В спектрах препаратов ГК и ГК₁ верховых видов торфа наблюдается также уменьшение интенсивности поглощения моноароматических структурных единиц, а в случае ГК и ГК₁ низинных видов торфа – снижение интенсивности полос поглощения амид I и амид II.

В литературе до сегодняшнего дня парамагнетизм ГВ объясняют наличием свободных радикалов, стабилизированных жесткой полимерной матрицей органического вещества [4, 10, 21], однако высокая реакционноспособность свободных радикалов [18], а также кислая реакция среды ГК не позволяют принять данную трактовку. Семихинонные радикалы могут существовать в щелочной среде, т. е. в гуматах, а не в ГК. На основании результатов исследований [8, 19] авторы данной работы объясняют парамагнетизм ГВ генерацией неспаренных π-электронов вследствие образования дефектов систем полисопряжения, обусловленных избытком энергии, имеющим место при формировании твердой фазы, с превалирующей ролью эффекта синергического взаимодействия ароматических фрагментов (да-же индивидуальных колец) и водородных связей, формируемых функциональными группами.

Принципиальное отличие природы парамагнетизма высокодисперсных структур от классических свободных радикалов состоит в том, что в последних неспаренный спин принадлежит внешней атомной или молекулярной орбитали одиночного (изолированного) молекулярного фрагмента, а в высокодисперсных структурах ГВ он делокализован по нескольким молекулярным фрагментам. Строго говоря, в высокодисперсных частицах имеет место не миграция неспаренного электрона как частицы, а характерная для низкоразмерных структур делокализация спиновой плотности [7, 9]. Данное обстоятельство обуславливает как необычную стабильность парамагнетизма гумусовых образований (неспаренные электроны не рекомбинируют в жидкой фазе), так и чувствительность спектров ЭПР к размерам и химической структуре высокодисперсных частиц, т. е. неспаренный π-электрон приобретает функции своеобразного «молекулярного репортера».

Результаты исследования ГК и ГК₁ методом ЭПР-спектроскопии приведены в табл. 3.

Препараты ГК, выделенные из образцов торфа низинного типа, по сравнению с ГК верхового торфа характеризуются большими значениями ширины сигнала, возрастающей с повышением уровня СВЧ-мощности, и более слабым насыщением его СВЧ-мощностью (высокие значения A/A₀), что обусловлено значительным содержанием азота в структурах ароматического сопряжения [17].

Таблица 3. Параметры ЭПР-спектров ГК и ГК₁ торфа из различных слоев торфяных месторождений

Глубина, см	Вид торфа, степень разложения, %	Препаратор	$\Delta H_{0,1\text{МВт}}$, Гс	$\Delta H_{50\text{МВт}}$, Гс	g-фактор	$I, 10^7$ спин/г	A/A ₀	Fe ³⁺	
								$\Delta H_{g=4}$, Гс	$I_{\text{отн.} g=4}, 10^6$
Верховой торф, месторождение Ореховский Мох									
0–25	Ангустифолиум, 15	ГК						Не исследовался	
		ГК ₁	3,4	4,0	2,0038	4,65	1,76	Нет сигнала	
30–50	Магелланикум, 10	ГК	3,4	4,0	2,0035	6,15	1,51	120	1,82
		ГК ₁	3,4	4,0	2,0035	7,19	1,60	Нет сигнала	
75–100	Магелланикум, 15–20	ГК	3,4	4,0	2,0035	7,72	1,62	120	2,33
		ГК ₁	3,3	4,0	2,0033	8,31	1,65	Нет сигнала	
Верховой торф, месторождение Дукора									
0–25	Сосново-сфагновый, 30	ГК	3,7	4,3	2,0036	5,53	1,72	120	1,87
		ГК ₁	3,4	3,9	2,0036	5,37	1,70	Нет сигнала	
30–50	Пушицево-сфагновый, 30–35	ГК	3,6	4,0	2,0036	5,99	1,64	120	2,06
		ГК ₁	3,6	3,9	2,0037	5,88	1,47	Нет сигнала	
75–100	Пушицево-сфагновый, 30–35	ГК	3,6	4,0	2,0036	5,69	1,54	120	1,43
		ГК ₁	3,4	3,9	2,0036	5,40	1,67	Нет сигнала	
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора									
0–25	Осоковый, 30	ГК	4,6	5,7	2,0035	2,28	4,30	130	9,37
		ГК ₁	4,0	4,6	2,0036	6,79	1,82	120	2,30
30–50	Древесно-осоковый, 40–45	ГК	4,3	5,4	2,0035	2,97	3,20	130	8,45
		ГК ₁	4,0	4,6	2,0036	7,14	1,98	120	2,85
75–100	Осоковый, 25	ГК	4,0	4,8	2,0036	6,28	2,04	120	3,26
		ГК ₁	3,7	4,3	2,0036	10,7	1,71	120	1,78
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи									
0–25	Древесно-тростниковый, 60–65	ГК	4,6	5,7	2,0033	2,51	5,14	130	11,8
		ГК ₁	3,9	4,4	2,0033	11,0	2,48	120	3,26
30–50	Тростниковый, 40–45	ГК	4,6	5,7	2,0033	2,59	4,78	130	12,9
		ГК ₁	3,7	4,3	2,0035	12,7	1,93	120	2,54
75–100	Тростниковый, 40	ГК	3,7	4,6	2,0035	6,57	2,39	120	3,90
		ГК ₁	3,6	4,0	2,0035	15,0	1,85	Нет сигнала	

Наблюдаются заметные различия в спектрах ЭПР ГК и ГК₁. ГК характеризуются большей шириной сигнала органических парамагнитных центров (ПМЦ). В случае торфяных залежей низинного типа интенсивность сигнала и степень насыщения его СВЧ-мощностью (по параметру A/A₀) значительно выше для пирофосфатных фракций ГК₁ по сравнению с ГК, что свидетельствует о высоком содержании в ГК₁ ароматических систем полисопряжения, не содержащих азота. Эти данные согласуются с результатами электронной спектроскопии в видимой области и ИК-спектроскопии. Для ГК и ГК₁ торфа месторождений верхового типа таких различий не наблюдается. Можно отметить меньшую интенсивность сигнала ЭПР препаратов ГК₁ верховых видов торфа по сравнению с низинными, что согласуется с более высокими значениями оптической плотности D₄₆₅ последних (см. табл. 1). Обращает на себя внимание значительно более высокое содержание комплексов трехвалентного железа в препаратах, выделенных из торфа низинных залежей. Данный факт объясняет существенно более слабую регистрируемую интенсивность сигнала ЭПР препаратов ГК последних, несмотря на более высокую степень разложения исходных образцов торфа низинного типа по сравнению с верховыми.

Наблюдаются закономерные изменения параметров ЭПР-спектров исследованных препаратов ГК в зависимости от глубины залегания исходного торфа. Прежде всего, обращает на себя внимание падение интенсивности сигнала ионносвязанного трехвалентного железа, расположенного в низких полях ($g \sim 4$, $\Delta H \sim 100$ Гс), особенно четко проявляющееся в случае ГК торфяных залежей низинного типа. С увеличением глубины залегания торфа имеет место сужение сигнала органических ПМЦ и увеличение его насыщения СВЧ-мощностью (уменьшение A/A₀), а также возрастание его интенсивности. Это свидетельствует о повышении степени ароматического полисопряжения в молекулах ГК с возрастанием глубины залегания торфа. Однако наиболее интересным представляется совпадение параметров ЭПР-спектров ГК торфа из глубинных слоев торфяных залежей низинного типа, имеющих низкую интенсивность сигнала ионносвязанного трехвалентного железа, с параметрами ЭПР-спектров ГК верховых видов торфа, а именно: наличие узкого ($\Delta H < 4$ Гс) сигнала при высоком насыщении его СВЧ-мощностью и появление дополнительного более широкого сигнала ($\Delta H \sim 15$ Гс) при высоких уровнях СВЧ-мощности, что специфично для ГК верховых видов торфа и

синтетических безазотистых систем ароматического полисопряжения [6]. Это может быть связано с резким снижением содержания азота в структурах ароматического полисопряжения ГК торфа из глубинных слоев торфяных залежей низинного типа, несмотря на достаточно высокое содержание в них общего азота (2,65–2,80 %), что подтверждается ослаблением полос амид I и амид II в ИК-спектрах.

Выводы. Содержание ГК, выделенных двумя экстрагентами 0,1 М NaOH и 0,1 М Na₄P₂O₇ при pH = 7, в торфе из глубинного слоя залежей (75–100 см), находящегося в анаэробных условиях, ниже, чем в торфе из поверхностного аэрируемого слоя (0–25 см), особенно в месторождениях низинного типа. Доля пирофосфатной фракции в составе ГК уменьшается с увеличением глубины залегания торфа для всех исследованных месторождений.

ГК торфа, выделенные из глубинных слоев залежей различного генезиса, имеют меньшие ММ по сравнению с соответствующими препаратами из торфа поверхностного слоя. Они харак-

теризуются более низким содержанием углеводородных и насыщенных углеводородных фрагментов, а также повышенным вкладом систем ароматического полисопряжения и уменьшением доли моноароматических структур, не входящих в системы полисопряжения.

По данным ЭПР-спектроскопии ГК торфа из глубинных слоев торфяных залежей низинного типа имеют низкое содержание азота в системах ароматического полисопряжения, вследствие чего структура систем полисопряжения в их макромолекулах не отличается от структуры систем ароматического полисопряжения ГК верховых видов торфа.

Совокупность полученных данных свидетельствует о протекании процессов вторичного изменения органического вещества в слоях торфяных залежей, расположенных ниже торфогенного слоя.

Работа выполнена при частичной поддержке ФФИ РБ – проект X10–147.

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов, Н. Н. Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов : автореф. дис. канд. хим. наук / Н. Н. Бамбалов ; Институт торфа. Минск, 1968.
2. Бамбалов, Н. Н. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв / Н. Н. Бамбалов, Т. Я. Беленская // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1431–1437.
3. Детерман, Г. Гель-хроматография / Г. Детерман. М., 1970.
4. Гуминовые вещества в биосфере / Тр. IV Всерос. конф. СПб., 2007.
5. Лебедев, К. К. Взаимосвязи лигнина и гуминовых кислот в низинных торфах / К. К. Лебедев // Генезис твердых горючих ископаемых. М., 1959. С. 31–50.
6. Лигононький, Б. И. О вкладе семихинонных ион-радикальных состояний в парамагнетизм окисительно-восстановительных полимеров с сопряженными связями / Б. И. Лигононький [и др.] // Докл. АН БССР. 1981. Т. 25, № 9. С. 825–827.
7. Лиштван, И. И. Физико-химические основы синергизма защитных свойств маслорастворимых ПАВ / И. И. Лиштван [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2008. Т. 52, № 6. С. 56–62.
8. Лиштван, И. И. Новые принципы моделирования структуры гуминовых кислот / И. И. Лиштван [и др.] // Вес. АН БССР. Сер. хім. наук. 1990. № 4. С. 7–10.
9. Лиштван, И. И. Влияние трансформации коллоидных структур маслорастворимых поверхностно-активных веществ на синергизм их композиций / И. И. Лиштван [и др.] // Вестн. Фонда фундамент. исслед. 2009. № 3. С. 22–31.
10. Лодыгин, Е. Д. Парамагнитные свойства гуминовых кислот подзолистых и болотно-подзолистых почв / Е. Д. Лодыгин, В. А. Безносиков, С. Н. Чуков // Почвоведение. 2007. № 7. С. 1–4.
11. Марыганова, В. В. Воздействие вида экстрагента на структуру извлекаемых из торфа гуминовых кислот / В. В. Марыганова, Н. Н. Бамбалов, С. В. Пармон // Химия твердого топлива. 2003. № 1. С. 3–10.
12. Марыганова, В. В. Изменения фракционно-группового состава гуминовых веществ и содержания индолил-3-уксусной кислоты с глубиной залегания торфа / В. В. Марыганова, Н. Н. Бамбалов, Л. В. Шайдак // Природопользование. 2011. Вып. 19. Минск, 2011. С. 180–186.
13. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. М., 1990.
14. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса : учебн. пособие / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. М., 1981.
15. Орлов, Д. С. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов / Д. С. Орлов, Н. Н. Осипова. М., 1988.
16. Раковский, В. Е. Химия и генезис торфа / В. Е. Раковский, Л. В. Пигулевская. М., 1978.
17. 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.
18. Химический энциклопедический словарь / гл. ред. И. Л. Кнуянц. М., 1983.
19. Черепанова, Е. Х. Влияние непарамагнитных ионов Ca²⁺ на параметры спектров ЭПР Ирша-Бородинского угля / Е. Х. Черепанова [и др.] // Химия твердого топлива. 1996. № 4. С. 19–32.
20. Gondar, D. Characterization and acid-base properties of fulvic and humic acids isolated from two horizons of an ombrotrophic peat bog / D. Gondar [et al.] // Geoderma. 2005. Vol. 126. P. 367–374.
21. Witwicki, M. Influence of Pb (II) ions on the EPR properties of semiquinone radicals of humic acids and model compounds: High field EPR and relativistic DFT studies / M. Witwicki [et al.] // J. Phys. Chem. A. 2009. Vol. 113, № 51. P. 1415–1422.

22. **Zaccone, C.** Influence of extractants on quality and trace elements contents of peat humic acids / C. Zaccone [et al.] // *Talanta*. 2007. Vol. 73. P. 820–830.
 23. **Zaccone, C.** Qualitative comparison between raw peat and related humic acids in an ombrotrophic bog profile / C. Zaccone, T. M. Miano, W. Shotyk // *Org. Geochemistry*. 2007. Vol. 38. P. 151–160.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 6.03.2012

В. В. Марыганова, Н. Н. Бамбалов, В. П. Стригуцкий, С. В. Пармон

**ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ТОРФА**

С использованием гель-хроматографии, электронной спектроскопии в видимой области, ИК- и ЭПР-спектроскопии исследованы особенности молекулярной структуры гуминовых кислот (ГК), выделенных двумя экстрагентами 0,1 М NaOH и 0,1 М Na₄P₂O₇ при pH = 7 из торфа, залегающего на разной глубине залежей различного генезиса.

Содержание ГК, выделенных из торфа глубинного слоя залежей (75–100 см), находящегося в анаэробных условиях, ниже, чем в торфе из поверхностного аэрируемого слоя (0–25 см), особенно в месторождениях низинного типа. Доля пирофосфатной фракции в составе ГК уменьшается с увеличением глубины залегания торфа для всех исследованных месторождений.

ГК торфа, выделенные из глубинных слоев залежей различного генезиса, имеют меньшие молекулярные массы по сравнению с соответствующими препаратами из торфа поверхностного слоя. Они характеризуются более низким содержанием углеводных и насыщенных углеводородных фрагментов, а также повышенным вкладом систем ароматического полисопряжения и уменьшением доли моноароматических структур, не входящих в системы полисопряжения. По данным ЭПР-спектроскопии ГК торфа из глубинных слоев торфяных залежей низинного типа имеют низкое содержание азота в системах ароматического полисопряжения, вследствие чего структура систем полисопряжения в их макромолекулах не отличается от структуры систем ароматического полисопряжения ГК верховых видов торфа.

Совокупность полученных данных свидетельствует о протекании процессов вторичного изменения органического вещества в слоях торфяных залежей, расположенных ниже торфогенного слоя.

V. V. Maryganova, N. N. Bambalov, V. P. Strigutskiy, S. B. Parmon

**PARTICULARITIES OF THE MOLECULAR STRUCTURE
OF HUMIC ACIDS DEPENDING ON THE DEPTH OF PEAT DEPOSIT**

Application of gel-chromatography, electronic absorption in visible region, IR and EPR spectroscopy allowed to study particularities of humic acids molecular structure (HA), isolated with two extractants, namely 0.1 M NaOH and 0.1 M Na₄P₂O₇ at pH = 7 from peats of various deposits depth of different genesis.

The contents of HA extracted from peat of deep layer of deposits (75–100 cm) being under anaerobic conditions are lower than the contents of those in the peat from the upper aerated layer (0–25 cm), especially in the low-moor peat deposits. The share of pyrophosphate fraction in the HA composition decreases with the increase of the depth of all peat deposits studied.

Peat HA, isolated from deep layers of peat deposits of different genesis have lower molecular weights than corresponding preparations from the top peat layer. They are characterized by lower contents of carbohydrate and saturated hydrocarbon fragments, as well as by the increased contribution of aromatic polyconjugation systems and a decrease of the portion of the monoaromatic structures not being included in the polyconjugation systems. By the EPR spectroscopy data, peat HA from the deep layers of the low-moor peat deposits have low nitrogen contents in the aromatic polyconjugation systems, as a result of that the structure of polyconjugation systems in their macromolecules does not differ from that of high-moor peat HA.

The totality of the data obtained testifies to the processes run of secondary change of organic matter in peat deposits layers beneath the peat-forming layer.

УДК 631.82:631.445.24

**Г. В. Наумова, Т. Ф. Овчинникова, Н. Л. Макарова, Н. А. Жмакова,
Г. В. Пироговская, А. М. Русалович**

КОМПЛЕКСНЫЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩИЕ МИКРОУДОБРЕНИЯ МАГ-РАПС И МАГ-КУКУРУЗА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Представлены сведения о комплексных гуматсодержащих микроудобрениях МАГ-рапс и МАГ-кукуруза и об эффективности их применения при выращивании данных культур.

Показано положительное влияние внекорневых обработок новыми микроудобрениями на урожайность и качественные показатели продукции.

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур наряду с агротехническими приемами предусматривают использование широкого спектра химических веществ – минеральных удобрений, микроэлементов, пестицидов и регуляторов роста растений, которые могут существенно воздействовать как на урожайность, так и на качество выращиваемой продукции.

Интересным с практической точки зрения является создание и применение на практике комплексных препаратов, включающих экологобезопасные регуляторы роста растений и микроэлементы. В качестве такого препарата использован регулятор роста растений гуминовой природы Гидрогумат, который широко применяется в сельском хозяйстве республики. Он нормализует обменные процессы в клетке, оказывает положительное влияние на рост и развитие растений, способствует повышению урожайности и улучшению качества растениеводческой продукции. Его применяют также в качестве биологически активной добавки к минеральным удобрениям. На основе Гидрогумата разработаны комплексные гуматсодержащие микроудобрения для внекорневой подкормки рапса и кукурузы – МАГ-рапс и МАГ-кукуруза.

Известно, что гуминовые вещества образуют нерастворимые соли с катионами двух- и поливалентных металлов, к которым относятся большинство микроэлементов, поэтому их введение требует применения комплекссона, в качестве которого использован Трилон Б. Это соединение содержит большое количество реакционных центров, которые, взаимодействуя с катионами металлов, образуют прочные комплексные соединения – комплекссонаты [1–3].

В качестве микроэлементов в гуматсодержащем микроудобрении МАГ-рапс выбраны бор и марганец в дозах, способствующих наибольшему эффекту повышения урожайности и улучшению качества семян рапса, а в удобрении МАГ-кукуруза – цинк и марганец.

Изучение эффективности комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-рапс при

внекорневой подкормке посевов озимого и ярового рапса проводилось в полевых опытах на дерново-подзолистых связносупесчаных почвах, подстилаемых лессовидными суглинками (СПК «Наша Нива» Слуцкого района), и на легкосуглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках (СПК «Щемыслица» Минского района). Производственный опыт с яровым рапсом проводился на дерново-подзолистой рыхло-супесчаной почве, развивающейся на рыхлых супесях, подстилаемых рыхлыми песками (СПК «Весейский Покров» Слуцкого района).

В СПК «Наша Нива» внекорневая обработка озимого рапса до начала цветения комплексными гуматсодержащими микроудобрениями позволила получить высокую урожайность семян рапса – в пределах от 37,7 до 40,3 ц/га (табл. 1).

Обработка микроудобрениями обеспечила повышение урожайности семян на 2,1–4,7 ц/га. Прибавка семян озимого рапса от внекорневой обработки посевов одним Гидрогуматом по сравнению с фоном ($N_{20}P_{64}K_{140} + N_{115}$ с внекорневыми обработками микроэлементами) составила 2,1 ц/га, от комплексных удобрений с бором – 2,9; с марганцем – 2,1; а с бором и марганцем – 4,7 ц/га.

Наиболее перспективным для сельскохозяйственного производства оказался вариант 7, который получил название комплексное гуматсодержащее микроудобрение МАГ-рапс, и который включает регулятор роста растений Гидрогумат, бор и марганец. Применение этого микроудобрения обеспечивает увеличение урожайности на 1,8–2,6 ц/га, увеличение масличности – на 0,8–4,7 % и снижение содержания эруковой кислоты – на 0,3–0,4 %, по сравнению с вариантами (4–6), где вышеуказанные добавки не вносились или вносились по отдельности.

Эффективность комплексных гуматсодержащих микроудобрений изучалась также на яровом рапсе (табл. 2).

Данные табл. 2 показывают, что применение комплексного гуматсодержащего микроудобрения в дозе 3 л/га обеспечило увеличение урожайности семян ярового рапса на 4,3 ц/га. Мас-

личность в варианте 6 по сравнению с фоном возросла на 2,1 %. Содержание эруковой кислоты во всех вариантах опыта находилось примерно на одном уровне и не превышало рекомендемых стандартов (2,0 %). Содержание глюказинолатов в семенах как озимого, так и ярового рапса не превышало 1–2 %.

В производственном опыте (СПК «Весейский покров» Слуцкого района, 2005 г.) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлыми песками, почве получена очень низкая урожайность семян ярового рапса – от 5,4 до 8,5 ц/га. Прибавка от внекорневой обработки посевов рапса комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-рапс составила 3,1 ц/га (табл. 3).

Таблица 1. Влияние внекорневой обработки комплексными гуматсодержащими микроудобрениями МАГ-рапс на урожайность и качество семян озимого рапса на дерново-подзолистой связнносупесчаной почве

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Масличность, %	Эруковая кислота, %
1. Контроль без удобрений	22,9	–	–	–
2. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ +N ₁₁₅	32,6	–	39,1	3,0
3. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ +N ₁₁₅ +внекорневая обработка микроэлементами (фон)	35,6	–	41,3	0,7
4. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом (1,5 л/га)	37,7	2,1	43,6	0,6
5. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом с В (4 л/га)	38,5	2,9	45,9	0,6
6. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом с Mn (4 л/га)	37,7	2,1	47,5	0,7
7. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом с В и Mn (МАГ-рапс) (4 л/га)	40,3	4,7	48,3	0,3
HCP _{0,05}	2,54	–	1,93	0,03

Таблица 2. Влияние внекорневой обработки комплексными гуматсодержащими микроудобрениями на урожайность и качество семян ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га	Масличность, %	Эруковая кислота*, %
	2005 г.	2006 г.			
1. Контроль без удобрений	9,8	13,4	–	–	–
2. N ₁₃₅ P ₆₄ K ₁₄₀ с В и Mn без внекорневых обработок (фон)	12,6	20,2	–	42,7	0,83
3. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом (3,0 л/га)	14,0	–	–	–	–
4. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом с В (3 л/га)	14,6	–	–	44,0	0,91
5. Фон + внекорневая обработка Гидрогуматом с Mn (3 л/га)	14,4	–	–	44,0	0,82
6. Фон + внекорневая обработка комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-рапс	16,5	25,0	4,3	44,8	0,82
HCP _{0,05}	1,63	2,39	–	1,61	0,05

*Допустимый уровень содержания эруковой кислоты – не более 2,0 %.

Таблица 3. Влияние внекорневой обработки комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-рапс на урожайность семян ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
1. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ + N ₁₁₅ без обработок (фон)	5,4	–
2. Фон + Гидрогумат (1,5 л/га)	6,0	0,6
3. Фон + комплексное гуматсодержащее микроудобрение МАГ-рапс (4,0 л/га)	8,5	3,1
HCP _{0,05}	1,31	–

Семена озимого и ярового рапса, полученные на почвах разного гранулометрического состава, соответствовали требованиям санитарной гигиены по главным качественным показателям. Содержание эруковой кислоты при внекорневых обработках комплексным гуматсодержащим микроудобрением находилось в пределах от 0,30 до 0,91 %, что значительно ниже нормированных требований первого класса, содержание глюкоzinолатов – от 1 до 2 %. Масличность семян была значительно (на 9,0–18,3 %) выше установленных норм и составляла 39,1–48,3 %.

Производственные испытания комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-кукуруза проводили в 2005 г в хозяйстве СПК «Вос-

ход» Минского района Минской области в урочищах Курковичи на 50 га (опыт 1) и Конус на 150 га (опыт 2). Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках со следующими агрохимическими показателями: урочище Курковичи – pH в КС1 – 5,72, содержание подвижного P₂O₅ – 227 и K₂O – 160 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 2,57 %; урочище Конус – pH в КС1 – 6,04, P₂O₅ – 254, K₂O – 400 мг/кг почвы, гумуса – 2,28 %. В опытах использована кукуруза сорта Триумф – среднеспельный трехлинейный гибрид, выведенный в Германии и районированный в Республике Беларусь с 2001 г. Результаты производственных испытаний нового микроудобрения представлены в табл. 4.

Таблица 4. Влияние микроудобрения МАГ-кукуруза на урожайность зеленой массы кукурузы сорта Триумф. Производственный опыт 1 (урочище Курковичи) и опыт 2 (урочище Конус)

Вариант	Урожайность зеленой массы			
	Опыт 1		Опыт 2	
	ц/га	прибавка к фону	ц/га	прибавка к фону
1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₆₀ (фон)	425	–	380	–
2. Фон + Гидрогумат (3 л/га)	429	4	388	8
3. Фон + комплексное гуматсодержащее микроудобрение МАГ-кукуруза (3 л/га)	431	6	390	10
4. Фон + комплексное гуматсодержащее микроудобрение МАГ-кукуруза (6 л/га)	438	13	406	26
HCP ₀₅	12,5	–	17,8	–

В опыте 1 (урочище Курковичи) при обработке посевов кукурузы (9 листьев) Гидрогуматом в дозе 3 л/га наблюдалось незначительное увеличение (на 4 ц/га) урожайности зеленой массы. При внесении комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-кукуруза в дозе 3 и 6 л/га урожайность увеличилась на 6 и 13 ц/га соответственно.

Внекорневая подкормка кукурузы (10–11 листьев) в производственном опыте 2 (урочище Конус) комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-кукуруза в дозе 6 л/га обеспечила также максимальное увеличение урожайности зеленой массы на 26 ц/га.

Поэтому определение структуры урожая зеленой массы кукурузы (табл. 5) и содержания протеина, азота и других элементов (табл. 6) проведено для варианта 4 в сравнении с вариантами 1 и 2 для урочища Курковичи и вариантом 1 для урочища Конус.

Учет биологического урожая зеленой массы кукурузы показал, что при обработке посевов кукурузы регулятором роста растений Гидрогумат или комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-кукуруза наблюдается тенденция к увеличению зеленой массы, сухого веще-

ства и початков на растении. При этом наибольший эффект получен при применении микроудобрения в дозе 6 л/га.

Содержание азота и сырого протеина в вариантах с внекорневыми обработками регулятором роста растений Гидрогумат или комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-кукуруза увеличивалось преимущественно в початках и стеблях кукурузы как в производственном опыте 1, так и в опыте 2. Что касается фосфора, то его существенное повышение отмечалось в початках, листьях и стеблях в производственном опыте 2. Отмечались различия по содержанию калия, кальция и магния в листьях, стеблях и початках.

Качество всей биомассы кукурузы (на момент уборки) оценивалось по содержанию сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки и золы. Выявлено, что применение комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-кукуруза повышает содержание сырого протеина на 2,6–3,1 %, а регулятора роста растений Гидрогумата – только на 0,9 %, по сравнению с внесением одних минеральных или органических и минеральных удобрений (табл. 7).

Таблица 5. Влияние комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-кукуруза на структуру урожая кукурузы сорта Триумф

Вариант	Вес 10 растений, кг	Высота, см	Количество початков, шт	Влажность, %	Сухое вещество, кг	% к весу сырого образца
Опыт 1 (урочище Курковичи)						
1	5,2	186	1,2			
Початки	—	—	—	68,0	0,78	47,7
Листья	—	—	—	79,2	0,16	15,2
Стебли	—	—	—	81,3	0,36	37,1
Средняя сумма	—	—	—	76,2	1,30	—
2	5,8	200	1,5	—	—	—
Початки	—	—	—	54,9	1,39	52,6
Листья	—	—	—	76,4	0,22	15,9
Стебли	—	—	—	81,0	0,35	31,5
Средняя сумма	—	—	—	70,8	1,96	—
4	5,9	206	1,6	—	—	—
Початки	—	—	—	60,9	1,35	45,4
Листья	—	—	—	78,4	0,25	15,8
Стебли	—	—	—	82,1	0,41	38,7
Средняя сумма	—	—	—	73,8	2,01	—
Опыт 2 (урочище Конус)						
1	6,48	190	1,5	—	—	—
Початки	—	—	—	75,3	0,75	45,9
Листья	—	—	—	79,0	0,21	15,4
Стебли	—	—	—	81,4	0,46	38,7
Средняя сумма	—	—	—	78,6	1,42	—
4	6,74	194	1,6	—	—	—
Початки	—	—	—	70,0	0,93	45,6
Листья	—	—	—	77,6	0,23	16,6
Стебли	—	—	—	80,6	0,50	37,8
Средняя сумма	—	—	—	76,1	1,66	—

Таблица 6. Влияние комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-кукуруза на содержание азота, сырого белка и фосфора в зеленой массе кукурузы сорта Триумф

Вариант	Aзот	Протеин	Фосфор	Калий %	Кальций	Магний
Опыт 1 (урочище Курковичи)						
1						
Початки	1,36	7,93	1,29	0,94	0,07	0,13
Листья	1,92	11,19	1,43	3,00	0,70	0,46
Стебли	0,66	3,85	0,82	1,76	0,15	0,11
2						
Початки	1,42	8,28	1,26	0,76	0,06	0,13
Листья	2,01	11,72	1,13	2,86	0,69	0,40
Стебли	0,81	4,72	0,60	2,48	0,18	0,14
4						
Початки	1,42	8,28	1,43	1,00	0,09	0,16
Листья	1,92	11,89	1,40	2,97	0,71	0,46
Стебли	0,82	4,78	0,78	1,97	0,16	0,12
Опыт 2 (урочище Конус)						
1						
Початки	1,42	8,28	1,43	1,00	0,09	0,16
Листья	1,92	11,89	1,40	2,97	0,71	0,46
Стебли	0,82	4,78	0,78	1,97	0,16	0,12
4						
Початки	1,46	8,51	1,47	1,23	0,08	0,16
Листья	1,34	8,81	1,61	3,20	0,63	0,33
Стебли	0,86	5,01	1,25	2,43	0,18	0,12

Таблица 7. Влияние комплексного гуматсодержащего микроудобрения МАГ-кукуруза на качественные показатели зеленой массы кукурузы сорта Триумф (на момент уборки)

Вариант	Sухое вещество	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Зола %
Опыт 1 (урочище Курковичи)				
1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₆₀ (фон)	19,0	10,3	10,4	0,72
2. Фон + Гидрогумат (3 л/га)	16,0	11,2	10,2	0,68
3. Фон + комплексное гуматсодержащее микроудобрение МАГ-кукуруза (6 л/га)	16,7	13,4	10,5	0,67
Опыт 2 (урочище Конус)				
1. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₆₀ + 140 т/га соломистого навоза (фон)	16,2	10,9	11,5	0,84
2. Фон + комплексное гуматсодержащее микроудобрение МАГ-кукуруза (6 л/га)	24,0	13,5	12,1	1,04

В СПК «Восход» на 50 га была проведена внекорневая подкормка кукурузы комплексным гуматсодержащим микроудобрением МАГ-кукуруза в дозе 6 л/га с дополнительным введенным в его состав карбамидом (5 %). Отмечена хорошая совместимость микроудобрения с мочевиной – ожогов на растениях не наблюдалось. Дополнительное повышение урожайности по сравнению с вариантом без карбамида составило 5–10 %.

Таким образом, применение нового комплексного гуматсодержащего микроудобрения

МАГ-кукуруза при внекорневых обработках растений кукурузы увеличило урожайность ее зеленой массы на 13–26 ц/га при одновременном улучшении качества продукции за счет повышения содержания протеина на 2,6–3,1 %; внекорневая обработка рапса микроудобрением МАГ-рапс повысила урожайность семян озимого рапса на 4,7 ц/га, ярового – на 3,2–4,3 ц/га, при этом качество семян соответствовало требуемым стандартам.

Л и т е р а т у р а

1. Антонов, В. В. Новые ингибиторы солеотложения и области их применения в процессах водоизготовки / В. В. Антонов // Энергосбережение и водоподготовка. 2000. № 3. С. 47–51.
2. Дятлова, Н. М., Комплексоны / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, М. Д. Колпакова. М., 1970.
3. Дятлова, Н. М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, К. И. Попов. М., 1988.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
РУП «Институт почвоведения и агрохимии»**

Поступила в редакцию 26.03.2012

**Г. В. Наумова, Т. Ф. Овчинникова, Н. Л. Макарова, Н. А. Жмакова,
Г. В. Пироговская, А. М. Русалович**

КОМПЛЕКСНЫЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩИЕ МИКРОУДОБРЕНИЯ МАГ-РАПС И МАГ-КУКУРУЗА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предусматривают применение биологически активных препаратов, в том числе ростстимулирующего действия, а также широко спектра микроэлементов, оказывающих положительное влияние на их рост и развитие. Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с Институтом почвоведения и агрохимии разработаны рецептуры комплексных гуматсодержащих микроудобрений для внекорневой обработки растений рапса и кукурузы, включающие гуминовый препарат Гидрогумат и на-

бор микроэлементов в хелатной форме. Двухлетние испытания этих микроудобрений, проведенные в полевых условиях, показали, что их применение более эффективно, чем раздельная обработка вегетирующих растений микроэлементами и Гидрогуматом.

Применение нового комплексного микроудобрения МАГ-кукуруза при внекорневых обработках растений кукурузы увеличило урожайность ее зеленой массы на 13–26 ц/га при одновременном улучшении качества продукции за счет повышения содержания протеина на 2,6–3,1 %; внекорневая обработка рапса микроудобрением МАГ-рапс повысила урожайность семян озимого рапса на 4,7 ц/га, ярового – на 3,2–4,3 ц/га, при этом качество семян соответствовало требуемым стандартам.

**G. V. Naumova, T. F. Ovchinnikova, N. L. Makarova, N. A. Zhmakova,
G. V. Pirogovskaya, A. M. Rusalovich**

**COMPLEX HUMAT- CONTAINING MICRO-FERTILIZERS MAG-RAPE AND MAG-CORN AND
EFFICIENCY OF THEIR USE IN PLANT GROWING**

Modern technologies of cultivation of agricultural crops provide application of biologically active preparations, including growth-stimulating actions, and also a wide spectrum of trace elements, making positive impact on their growth and development. The Institute of Nature management of the NAS of Belarus together with Institute of Soil science and Agrochemistry developed formulations of complex humate-containing micro-fertilizers for off-root treatment of rape and corn plants, including humic preparation Hydrohumate and a set of trace elements in chelate form. The two-year-old tests of these micro-fertilizers carried out in field conditions, have shown, that their application is more effective, than separate treatment of vegetating plants with trace elements and Hydrohumate.

An application of new complex micro-fertilizer the MAG-corn at the off-root treatment of corn plants has increased productivity of its green weight by 13–26 c/ha and simultaneous improvement of the quality of production due to the increase of the content of protein by 2,6–3,1 %; off-root treatment of rape with micro-fertilizer the MAG-rape has raised productivity of seeds of winter rape by 4,7 c/ha, of spring – by 3,2–4,3 c/ha. The seeds quality corresponded to standards required.

С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

МЕДЬ-ЦИНК МИКРОЭЛЕМЕНТНОЕ ГУМИНОВОЕ УДОБРЕНИЕ

Рассматриваются условия получения устойчивого жидкого концентрированного удобрения, содержащего в качестве биостимулятора роста растений гуминовые вещества, выделенные при щелочной экстракции торфа, и микроэлементы медь и цинк. Показано, что необходимыми компонентами указанных удобрений являются трилон Б и водный раствор аммиака.

Современное сельское хозяйство невозможно без широкого применения различных органических и минеральных удобрений. Так, традиционные системы удобрений обеспечивают урожайность зерновых культур до 60–70 ц/га. Для повышения урожайности используют биостимуляторы роста растений и микроэлементы [5, 11].

Наиболее перспективными и экологически безопасными природными биостимуляторами являются гуминовые вещества (ГВ). Они оказывают разностороннее действие на растения: активизируют биоэнергетические процессы, стимулируют обмен веществ, улучшают проникновение минеральных веществ через поры, усиливают адаптационные свойства. При этом ГВ не только увеличивают урожайность, массу плода и ускоряют сроки созревания, но и улучшают качество продукции, повышая содержание в ней сахаров, витаминов, уменьшая при этом количество нитратов [1, 15, 16]. Но при использовании только ГВ растения недополучают микроэлементы.

Для развития растений необходимы медь и цинк [9]. Медь входит в состав ряда важных окислительных ферментов и выполняет специфическую роль в ускорении окислительно-восстановительных процессов, происходящих в растениях. Катионы меди оказывают благотворное влияние на образование в растениях хлорофилла. Под влиянием этого элемента усиливается образование в растениях белков, углеводов, жиров, витамина С, улучшается формирование органов плодоношения. При недостаточном содержании меди в почве растения развиваются плохо, снижается содержание в них хлорофилла, органы растений бледнеют и отмирают.

Цинк входит в состав всех растительных организмов. Этот элемент играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах живых организмов, принимает непосредственное участие в синтезе хлорофилла и увеличивает интенсивность фотосинтеза. Он положительно влияет на углеводный обмен и синтез белковых веществ в растениях, на образование витаминов группы В, а также витаминов С и Р. Специфическая роль цинка заключается в его способности содействовать росту растений. Под влиянием

цинка в растениях увеличивается образование гормона роста – ауксина. При отсутствии этого элемента в питательной среде растения погибают вскоре после появления всходов, несмотря на наличие всех других элементов питания.

Цель работы – установление условий получения устойчивых концентрированных растворов удобрений, содержащих в качестве биостимуляторов роста растений ГВ и два микроэлемента Cu и Zn.

Растворы ГВ получали экстракцией торфа раствором гидроксида натрия [3].

При взаимодействии ГВ с ионами металлов в зависимости от соотношения Me:ГВ могут образовываться как растворимые, так и нерастворимые металл-гуминовые комплексы (МГК) [7, 10]. Так, в щелочной среде при соотношении Me:ГВ >1 образуются нерастворимые МГК, что вызвано как вовлечением в процесс комплексообразования функциональных групп ГВ различной силы, так и возможностью связывания катионом нескольких разных молекул ГВ [6, 7].

Для обработки семян и опрыскивания растений используют только растворимые МГК. Последние образуются при взаимодействии щелочных растворов ГВ с катионами только тогда, когда ГВ:Me > 1,5–2 [7]. Это соотношение является неблагоприятным для растений, поскольку в сельском хозяйстве применяют препараты, в которых масса микроэлементов больше массы ГВ в 5–10 раз.

Для предупреждения образования осадков необходимо, чтобы еще до взаимодействия ГВ с катионами последние находились в форме комплексных соединений. При этом надо использовать такие лиганды [2], у которых константы устойчивости растворимых комплексных соединений с катионами выше констант устойчивости нерастворимых МГК.

В работе [13] запатентован способ получения концентрированного медь-гуминового (Си-ГВ) удобрения, который включает использование 25 %-ного водного раствора аммиака и хлорида аммония.

Из табл. 1 видно, что 25 %-ный водный раствор аммиака и хлорид аммония можно использовать только для приготовления концентрирован-

ных Cu–ГВ растворов (образец 1, табл. 1). При введении катионов аммония в цинк–гуминовые (Zn–ГВ) и медь–цинк–гуминовые (Cu–Zn–ГВ) растворы устойчивые концентрированные растворы могут быть получены, но при разбавлении в рабочих растворах образуются темноокрашенные осадки.

При этом хлорид аммония не оказывает заметного влияния на состояние и устойчивость Zn–ГВ и Cu–Zn–ГВ концентрированных и рабочих растворов, а увеличение объема вводимого водного раствора аммиака способствует лишь незначительной стабилизации рабочих растворов (образцы № 5 и 6, табл. 1).

Учитывая то, что константа нестойкости

комплексных соединений меди с аммиаком ($K_h(Cu(NH_3)_5^{2+}) = 6,4 \times 10^{-13}$) меньше, чем цинка ($K_h(Zn(NH_3)_4^{2+}) = 3,5 \times 10^{-10}$) [14], и то, что при разбавлении растворов усиливаются процессы гидролиза [12], можно предположить, что в рабочих растворах гидролиз аммиакатов цинка приводит к снижению устойчивости растворимых МГК и способствует образованию нерастворимых осадков, представляющих смесь гидроксидов цинка, меди и нерастворимых МГК.

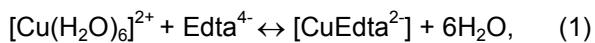
Следует учитывать и то, что в водопроводной воде присутствуют карбонат- и гидрокарбонат-ионы, которые при взаимодействии с исследуемыми катионами образуют нерастворимые основные карбонаты меди и цинка [4, 12].

Таблица 1. Влияние концентрации ГВ, водного раствора аммиака и хлорида аммония на устойчивость растворов, содержащих ГВ и катионы меди и цинка

Концентрация				NH ₄ Cl, г/л	Наличие осадка	
Cu ²⁺ , г/л	Zn ²⁺ , г/л	ГВ, г/л	25 %-ный водный раствор аммиака, мл/л		в концентрированном растворе	в рабочем растворе
25	–	5	280	50	Нет	Нет
–	25	5	280	50	Нет	Осадок
25	25	5	280	50	Нет	Осадок
25	25	–	500	–	Нет	Осадок образуется через 7 мин
25	25	–	500	50	Нет	Осадок образуется через 7 мин
25	25	5	500	50	Нет	Осадок образуется через 5 мин

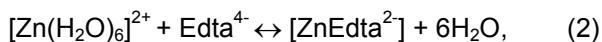
В настоящее время в Голландии, Финляндии и Германии при производстве микроудобрений используют динатриевую соль этилендиаминтетракусной кислоты (трилон Б). Это вызвано не только доступностью и относительно низкой ценой трилона Б, но и тем, что многие катионы образуют с данным комплексообразователем достаточно устойчивые комплексные соединения, так константы нестойкости для исследуемых катионов равны – $K_h(CuEdta^{2-}) = 1,6 \times 10^{-19}$ и $(K_h(Zn Edta^{2-}) = 3,2 \times 10^{-17})$ [4]. При этом устойчивость растворимых комплексных соединений, образованных катионами с трилоном Б, значительно превышает устойчивость соответствующих нерастворимых МГК [8].

Согласно уравнению реакции 1



для связывания 1 г катионов меди в растворимое комплексное соединение необходимо добавить 6,51 г трилона Б.

Согласно уравнению реакции 2



1 г катионов цинка взаимодействует с 6,46 г трилона Б.

Таким образом, для того, чтобы получить раствор, содержащий в виде растворимых комплексных соединений 25 г/л Cu²⁺ и 25 г/л Zn²⁺, требуется не менее 324,25 г/л трилона Б.

Для приготовления растворов используется водопроводная вода, в которой содержится около 50–80 мг/л Ca²⁺ и 10–30 мг/л Mg²⁺, поэтому для предотвращения выпадения в осадок катионов жесткости, количество трилона Б должно быть на 1–10 г/л больше стехиометрически рассчитанного.

Методика проведения эксперимента заключалась в растворении сульфатов меди и цинка в различных объемах 25 %-ного водного раствора аммиака. Для полного растворения солей раствор подогревали на водяной бане до температуры 40–50 °C. Затем добавляли необходимое количество трилона Б. После охлаждения в раствор вводили такое рассчитанное количество щелочного раствора ГВ, чтобы соотношение Cu:Zn:ГВ составляло 25:25:5 г/л.

Приготовленные концентрированные растворы оставляли на 24 ч при температуре 18–22 °C, затем разбавляли в 100 раз и получали рабочие растворы. Таким образом, в рабочих растворах концентрация для каждого катиона

составляла 0,25 г/л, а ГВ – 0,05 г/л. Далее в течение дня наблюдали за состоянием рабочих растворов, о котором судили по изменению значения коэффициента пропускания: чем выше значение коэффициента, тем более устойчив раствор. Если в рабочем растворе выпадал осадок, то фиксировали время его образования. Концентрированные растворы, в которых не образовывался осадок после разбавления, оставляли храниться в темном месте при температуре 18–22 °С. Периодически из оставленных концентрированных растворов отбирали аликовты для разбавления. Концентрированные и рабочие растворы готовили с использованием только водопроводной воды (рН 7,7–7,9).

Проведенные исследования показали, что для получения концентрированных Cu-Zn-ГВ

растворов с концентрациями компонентов 25:25:5 г/л необходимо использовать 350–400 г/л трилона Б и 350–400 мл/л водного раствора аммиака (образцы 4 и 5 табл. 2; рис. 1).

Наиболее оптимальной концентрацией 25 %-ного водного раствора аммиака в растворе является 370 мл/л, поскольку коэффициент пропускания рабочего раствора с концентрацией водного раствора аммиака 400 мл/л (кривая 2, рис. 1) в среднем на 10 % меньше, чем у рабочего раствора с концентрацией 370 мл/л (кривая 1, рис. 1), что свидетельствует об уменьшении стабильности таких растворов; у соответствующего рабочего раствора pH меньше 10 (табл. 2). Введение дополнительных количеств аммиака приводит к увеличению pH рабочих растворов, что является нежелательным (рис. 2).

Таблица 2. Влияние концентрации трилона Б и водного раствора аммиака на устойчивость растворов, содержащих Cu²⁺ (25 г/л), Zn²⁺ (25 г/л) и ГВ (5 г/л)

25 %-ный водный раствор аммиака, мл/л	Трилон Б, г/л	Наличие осадка		Примечание
		в концентрированном растворе	в рабочем растворе	
400	350	Нет осадка рН 8,3	Прозрачный раствор; рН 8,2	Осадок образуется в концентрированном и рабочем растворах через 7 дн.
400	400	Нет осадка рН 10,0	Прозрачный раствор; рН 9,5	При разбавлении концентрированного раствора через 2 нед. в рабочем растворе осадок
360	340	Нет осадка рН 10,0	Прозрачный раствор; рН 8,6	При разбавлении концентрированного раствора через 10 дн. в рабочем растворе осадок
200	350	Нет осадка; рН 10,5	Прозрачный раствор; рН 9,5	При разбавлении концентрированного раствора через 18 мес. в рабочем растворе нет осадка
280	350	Нет осадка; рН 10,9	Прозрачный раствор; рН 10,0	Небольшой осадок в концентрированном растворе через 6 мес.
370	350	Нет осадка; рН 10,3	Прозрачный раствор; рН 9,1	Небольшой осадок в концентрированном растворе через 5 мес.

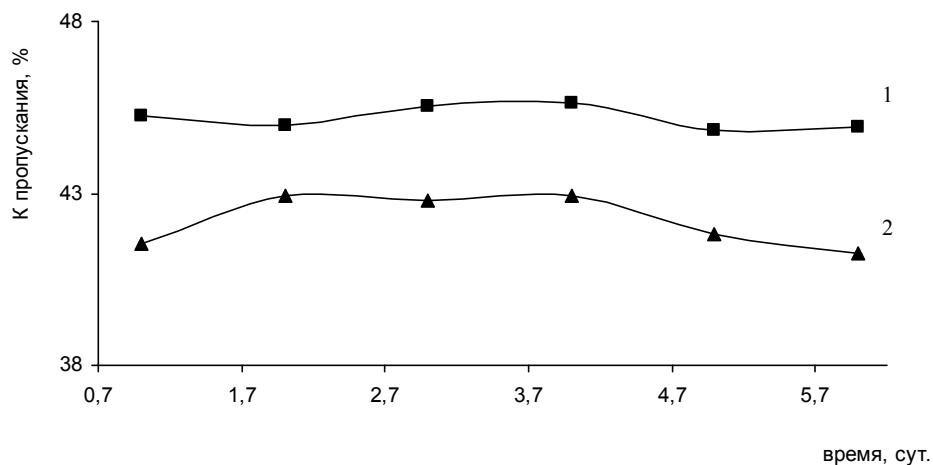


Рис. 1. Характер изменения коэффициента пропускания света (К) рабочим раствором, приготовленным из концентрированного Cu-Zn-ГВ раствора, содержащего 350 г/л трилона Б и 370 мл/л (2 – 400 мл/л) 25 %-ного водного раствора аммиака, в зависимости от времени

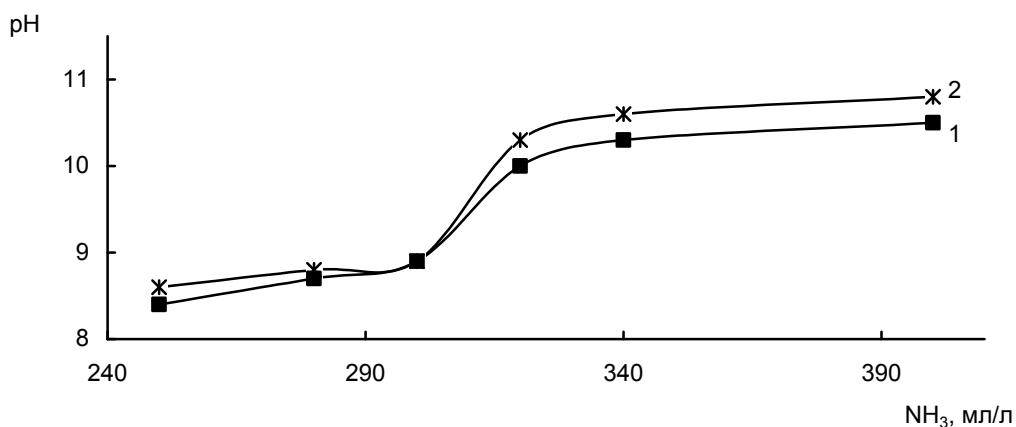


Рис. 2. Влияние концентрации 25 %-ного водного раствора аммиака на pH рабочего Cu-Zn-GV раствора, полученного из концентрированного раствора с концентрацией трилона Б: 1 – 300 г/л и 2 – 320 г/л

Наиболее оптимальной концентрацией трилона Б является 350 г/л. Введение больших количеств трилона Б нецелесообразно, так как прозрачность раствора при этом практически не изменяется (рис. 3). Наоборот, появляется опасность получения пересыщенного раствора микроудобрения. Трилон Б лучше всего вводить в удобрение после растворения солей меди и цинка в 25 %-ном растворе аммиака. В данном случае растворение трилона Б происходит быстрее, за счет чего сокращается время нагревания, которое необходимо для растворения всех компонентов.

Таким образом, установлено, что для получения устойчивых концентрированных удобрений, содержащих по 25 г/л катионов меди и цинка и 5 г/л ГВ, необходимо использовать 370 мл/л 25 %-ного водного раствора аммиака и 350 г/л трилона Б. Если аммиак или трилон Б вводить

меньше или больше этого количества, то рабочие растворы не могут быть использованы для обработки семян и растений по одной из двух причин:

комплексное Cu-Zn-GV микроэлементное гуминовое удобрение получается без осадка, но при его разбавлении водой часть катионов меди, цинка и ГВ в рабочем растворе выпадает в осадок; после хранения в течение 5–6 мес. в Cu-Zn-GV микроэлементном гуминовом удобрении образуется осадок.

Принципиально важно, чтобы до введения ГВ в растворе находились комплексные соединения катионов меди и цинка с аммиаком и трилоном Б.

Полученное Cu-Zn-GV микроэлементное гуминовое удобрение прошло двухгодичные испытания в НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларусь».

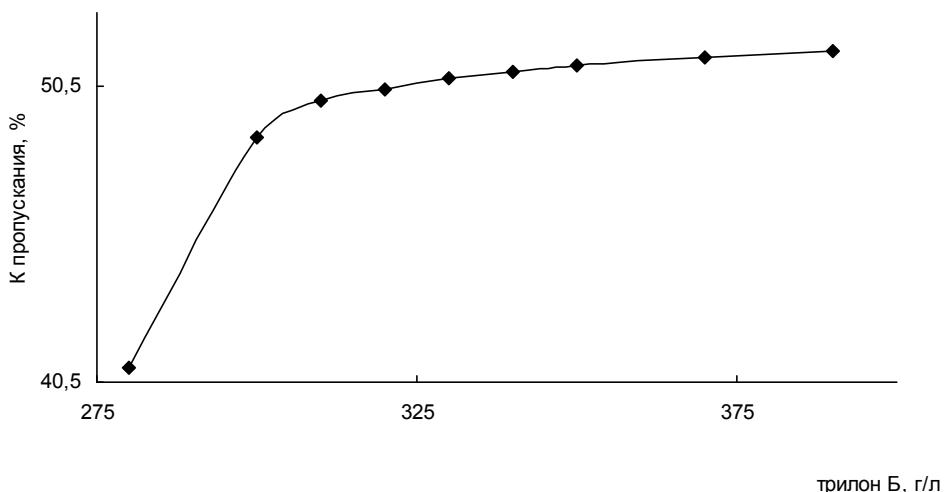


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания света (К) рабочим раствором от концентрации трилона Б в Cu-Zn-GV микроэлементном гуминовом удобрении, содержащем 370 мл/л 25 %-ного раствора аммиака

Литература

1. Агрохимия / Б. А. Ягодин и [др.] ; под ред. Б. А. Ягодина. М., 1989.
2. Глинка, Н. Л. Общая химия / Н. Л. Глинка. Л., 1983.
3. Горовая, А. И. Гуминовые вещества / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. Киев, 1995.
4. Дятлова, Н. М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, К. И. Попов. М., 1988.
5. Жидкие гуминовые удобрения с микроэлементами / Т. Я. Кашинская и [др.] // Природопользование. 2009. Вып. 15. Минск, 2009. С. 231–235.
6. Жоробекова, Ш. Ж. Макролигандные свойства гуминовых кислот / Ш. Ж. Жоробекова. Фрунзе, 1987.
7. Коврик, С. И. Формирование металл-гуминовых комплексов в процессе очистки сточных вод препаратами на основе торфа : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.36 / С. И. Коврик. Минск, 2005.
8. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С. Ю. Булыгин [и др.] ; под общ. ред. С. Ю. Булыгина. Днепропетровск, 2007.
9. Основы растениеводства : учеб. пособие / И. П. Козловская [и др.] ; под общ. ред. И. П. Козловской. Минск, 2010.
10. Пинский, Д. Л. К вопросу о механизмах ионообменной адсорбции тяжелых металлов почвами / Д. Л. Пинский // Почтоведение. 1998. № 11. С. 1348–1355.
11. Разработать и организовать производство высокоеффективных жидких комплексных микроудобрений на основе гуматов торфа для некорневой обработки растений, инкустации семян и добавки к минеральным удобрениям : отчет о НИР/ ГНУ Институт природопользования НАН Беларуси ; рук. темы Г. А. Соколов. Минск, 2011. № ГР 2092961.
12. Реми, Г. Курс неорганической химии : в 2 т. / Г. Реми ; под ред. А. В. Новоселовой. 11-е изд. М., 1966. Т. 1.
13. Способ получения медь-гуминового удобрения : пат. 12858 Респ. Беларусь, МПК(2006) C 05 G 3/00 / Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, О. М. Самокар ; заявитель Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, О. М. Самокар. № а 2007205 ; заявл. 03.10.2007 ; опубл. 24.11.2009 // Афіцыны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2010. № 1 (71). С. 91.
14. Справочник химика : в 6 т. / редкол. : Б. П. Никольский (гл. ред.) [и др.]. М.–Л., 1965–1968. Т. 3 : Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы / Б. П. Никольский [и др.]. 1965.
15. 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.
16. 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.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 26.03.2012

С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

МЕДЬ-ЦИНК МИКРОЭЛЕМЕНТНОЕ ГУМИНОВОЕ УДОБРЕНИЕ

Установлены условия (состав, порядок приготовления) получения микроэлементного гуминового удобрения, содержащего в растворенной форме одновременно биологически активные гуминовые вещества, выделенные при щелочной экстракции торфа, и катионы меди и цинка в оптимальных для обработки растений соотношениях. Обязательным условием получения удобрения является введение щелочного раствора гуминовых веществ только после образования комплексных соединений катионов меди и цинка с аммиаком и трилоном Б.

Результаты исследований показали, что растворы, содержащие 5 г/л гуминовых веществ, по 25 г/л катионов меди и цинка, 370 мл/л 25 %-ного водного раствора аммиака и 350 г/л трилона Б являются устойчивыми и хранятся более 18 месяцев.

Полученное микроэлементное гуминовое удобрение, содержащее медь и цинк, прошло двухгодичные испытания в НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси».

S. I. Kovrik, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov

COPPER AND ZINC MICROELEMENT HUMIC FERTILIZER

Conditions (structure, a preparation order) of the production of microelement humic fertilizer in dissolved form with simultaneously biologically active humic substances, obtained by alkaline peat extraction, and copper and zinc cations in optimum for processing of plants ratios have been stated. An obligatory condition of the fertilizer production is introduction of alkaline solution of humic substances only after the formation of complex connections of copper and zinc cations with ammonia and trilon B.

The research results have shown, that solutions with 5 g/l of humic matters, 25 g/l copper and zinc cations each, 370 ml/l of 25 % aqueous solution of ammonia and 350 g/l of trilon B are persistent and may be stored more than 18 months.

The obtained microelement humic fertilizer with copper and zinc has passed biennial tests in SRUE «Institute of Soil Management and Agro-chemistry NAS of Belarus».

УДК 622.7

Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ НА ВЫХОД ВОДОРАСТВОРIMЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА

Представлены данные по динамике выхода водорасстворимых веществ из торфа под влиянием гидродинамической кавитации. Установлено, что в водном растворе увеличивается концентрация водорасстворимых веществ в 2,6–6,8 раза по сравнению с исходным торфом, при этом общий выход водорасстворимых веществ из верхового торфа в два раза выше, чем из низинного. Увеличение концентрации водорасстворимых веществ имеет волнобразный характер, который объясняется сложностью превращения органических веществ в процессе кавитации, так как наряду с деструкцией больших молекул параллельно происходит противоположный процесс конденсации водорасстворимых фрагментов с вторичным образованием нерастворимых в воде соединений.

Водорасстворимые вещества торфа находят все большее применение в разных технологиях, например, при подземном и кучном выщелачивании металлов из бедных руд, в косметологии, бальнеологии и др. Содержание водорасстворимых гуминовых веществ, извлекаемых при 96–98 °C, как правило в среднем составляет 1–3 % от органического вещества (ОВ) торфа.

К настоящему времени разработаны методы многократного увеличения выхода водорасстворимых веществ из торфа путем его окисления пероксидом водорода, озоном, закисью азота, азотной кислотой, хлорированием. Недостатками этих методов является высокая стоимость и опасность для людей и окружающей среды. Поэтому разработка новых экологически безопасных методов получения водорасстворимых веществ является актуальной научной и прикладной задачей, при этом особенно важно разработать методы получения водорасстворимых гуминовых веществ.

Анализ литературы [5] показал, что кавитация является эффективным методом преобразования физических и химических свойств веществ разного происхождения, однако, о ее влиянии на органическое вещество торфа имеется недостаток знаний.

Цель работы – получение данных по изменению растворимости в воде гуминовых веществ (ГВ) в процессе гидродинамической кавитации торфа.

Объект исследования – низинный древесно-тростниковый торф месторождения «Ореховский Моз» со степенью разложения (R) 35–40 %, зольностью (A) 8,4 %, pH 5,6; верховой магелланум-торф месторождения «Зеленый Бор» ($R = 20\%$, A = 9,9 %, pH 3,2). Образцы фрезерного торфа просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм и загружали в кавитационную установку.

Состав и количество суспензии для низинного торфа – 1 кг торфа + 3,5 л воды; для верх-

ового торфа – 0,5 кг торфа + 4 л воды. Такие различия обусловлены разной водопоглощающей способностью этих видов торфа. Пробы по 0,2 л кавитированного торфа в виде суспензии отбирали последовательно через 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 и 90 минут кавитации. В процессе кавитации наблюдалось повышение температуры в среднем на 1–2 градуса в минуту, но после 60 минут температура не возрастала.

Дальнейшая работа с кавитированными образцами торфа включала определение количества органического вещества, переходящего в водный раствор при комнатной температуре, определение величины оптической плотности и коэффициентов цветности растворов. В прозрачных растворах после центрифугирования определяли углерод органического вещества микрочрмовым методом [1], оптическую плотность – на приборе КФК-2. Результаты представлены в таблицах и на рисунках.

Данные по количеству углерода органического вещества, переходящего в водный раствор (C_{BP}) до и после кавитации низинного и верхового торфа, представлены в табл. 1.

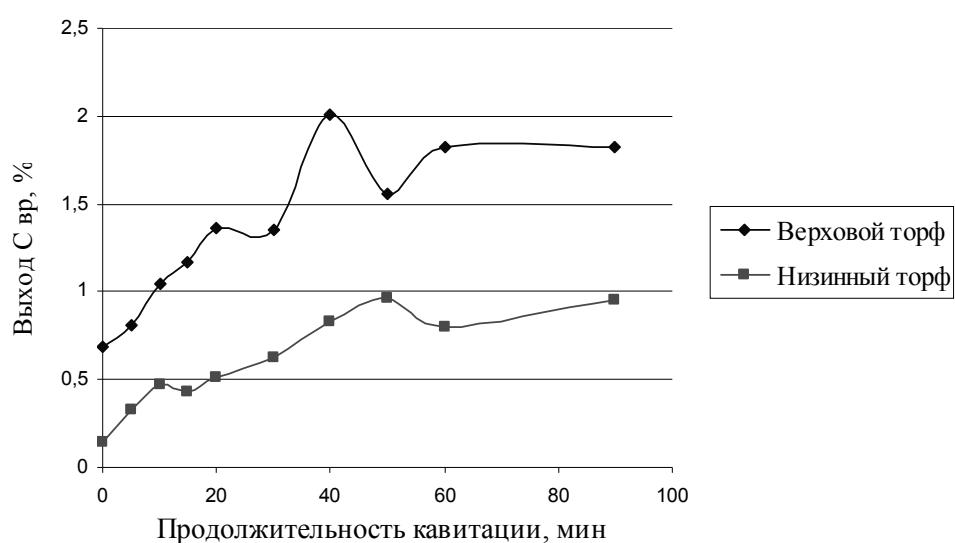
Таблица 1. Выход углерода органического вещества (C_{BP}), переходящего в водный раствор, % на сухое вещество торфа

Продолжительность кавитации, мин	Низинный торф	Верховой торф
0 (исходный торф)	0,14	0,69
5	0,33	0,81
10	0,47	1,05
15	0,43	1,17
20	0,51	1,36
30	0,63	1,35
40	0,83	2,01
50	0,96	1,56
60	0,80	1,82
70	–	1,82
90	0,95	–

Исходя из данных таблицы видно, что в ходе эксперимента происходит постепенное увеличение выхода водорастворимых веществ: в низинном торфе в 6,8 раз, в верховом – в 2,6 раза. Это означает, что в процессе кавитации нерастворимые в воде высокомолекулярные соединения торфа деструктируются и приобретают

способность к растворению в воде. Органическое вещество верхового торфа оказалось более устойчиво к воздействию кавитации, несмотря на более высокий выход водорастворимых веществ.

Динамика выхода С_{ВР} в низинном и верховом торфе представлена на рисунке.



Выход С_{ВР} в низинном и верховом торфе в зависимости от продолжительности кавитации

Максимум выхода С_{ВР} в верховом торфе происходит после 40 минут кавитационной обработки, а из низинного торфа – при продолжительности кавитации 40–50 минут, после чего количество водорастворимых веществ снижается и затем медленно начинает возрастать. Такой волнообразный характер изменения выхода водорастворимых веществ объясняется сложностью превращения органических веществ в процессе кавитации, так как наряду с деструкцией больших молекул параллельно происходит противоположный процесс конденсации образовавшихся из водорастворимых фрагментов с вторичным образованием нерастворимых в воде соединений. В зависимости от преобладания процесса деструкции или конденсации наблюдаются колебания в содержании водорастворимых веществ в кавитируемой суспензии. Как было установлено [3, 6], это является общей закономерностью процессов превращения биополимеров и других органических молекул в природных и технологических процессах.

Выход водорастворимых веществ при кавитации верхового торфа выше, чем низинного, вероятно, в связи с тем, что в результате кавитационного окисления образуются водорастворимые соединения с карбоксильными группами. При кавитации низинного торфа они могут взаи-

модействовать с кальцием, железом и другими поливалентными ионами металлов, а в верховом этот процесс практически не имеет места из-за низкой зольности сырья.

Согласно обобщению [2], группа водорастворимых органических веществ состоит из многих соединений различных классов:mono- и олигосахаридов, аминокислот, аминосахаров, альдегидов, фенолов, органических кислот, водорастворимых фракций гуминовых кислот, лигнина, фульвокислот и др. Несмотря на большие различия в строении молекул эти вещества имеют одно общее свойство – способность растворяться в воде.

Коричневая окраска получаемых в процессе кавитации водных растворов объясняется присутствием в них гуминовых веществ, так как другие органические соединения – углеводы, аминокислоты и т. п. бесцветные и не влияют на оптическую плотность водорастворимых веществ.

При получении водорастворимых веществ важно знать, обогащаются они соединениями гуминовой природы или нет. Для этого был использован метод измерения оптических характеристик полученных растворов.

Спектры поглощения гуминовых веществ в видимой области представляют собой поглощенные

кривые с постепенным уменьшением оптической плотности по мере увеличения длины волны. При этом алифатические фрагменты систем полисопряжения в молекулах ГВ поглощают свет в коротковолновой части спектра, а ароматические – в длинноволновой. Для оценки соотношения между этими фрагментами используют коэффициент цветности $Q_{4/6}$, определяемый по

отношению оптической плотности при двух длинах волн [4]. В наших исследованиях $Q_{4/6}$ определяли по соотношению D_{440} и D_{670} нм.

В табл. 2 представлены данные об изменении оптической плотности и коэффициентов цветности водорастворимых веществ, полученных из верхового и низинного торфа.

Таблица 2. Изменение оптической плотности и коэффициентов цветности водорастворимых веществ

Продолжительность кавитации, мин	D_{440}	D_{670}	$Q_{4/6}$
Низинный торф			
0 (исходный торф)	0,069	0,022	3,14
5	0,131	0,022	5,95
10	0,197	0,049	4,02
15	0,218	0,053	4,11
20	0,263	0,063	4,17
30	0,433	0,104	4,16
40	0,481	0,119	4,04
50	0,540	0,135	4,00
60	0,482	0,121	3,98
90	0,411	0,102	4,03
Верховой торф			
0 (исходный торф)	0,234	0,040	5,85
5	0,337	0,051	6,61
10	0,477	0,086	6,55
15	0,547	0,090	6,01
20	0,675	0,134	5,04
30	0,935	0,274	4,41
40	1,092	0,211	5,18
50	1,169	0,214	5,46
60	1,385	0,350	4,96
70	1,297	0,261	5,00

С увеличением продолжительности кавитации оптическая плотность как в низинном, так и в верховом торфе возрастает, однако лишь до 50–60-минутного воздействия, после чего она уменьшается.

Оптическая плотность водорастворимых веществ может возрастать по двум причинам: за счет повышения концентрации ГВ и за счет перехода в водный раствор более конденсированных фрагментов молекул ГВ. Логично допустить, что в наших экспериментах оба процесса имеют место. Однако через 50–60 минут оптическая плотность водорастворимых веществ снижается за счет разрушения молекул водорастворимых гуминовых веществ атомарным кислородом, образующегося при разложении воды в процессе кавитации. Применительно к гуминовым кислотам торфа процесс уменьшения оптической плотности под воздействием окисления атомарным кислородом объясняется уменьшением систем полисопряжения в их молекулах с одновременным уменьшением молекулярных масс [5].

Коэффициент цветности ГВ верхового торфа имеет большее численное выражение, чем низинного торфа. Это свидетельствует о том, что в молекулах ГВ исследуемого верхового торфа содержится больше алифатических и меньше ароматических фрагментов, чем в моле-

кулах ГВ низинного и объясняется пониженной величиной степени разложения низинного торфа по сравнению с верховым.

В первые 5–15 минут после начала кавитации величина коэффициента цветности водорастворимых веществ существенно возрастает по сравнению с водорастворимыми веществами исходного торфа, а затем коэффициент цветности снижается. Это означает, что сначала в водный раствор переходят ГВ, молекулы которых обогащены алифатическими фрагментами, а затем эти фрагменты постепенно разрушаются под воздействием кавитации, и в водном растворе остаются гуминовые вещества, обогащенные ароматическими фрагментами.

Выводы

1. Под воздействием гидродинамической кавитации торфа в водном растворе увеличивается концентрация водорастворимых веществ в 2,6–6,8 раза по сравнению с исходным торфом, при этом общий выход водорастворимых веществ из верхового торфа в два раза выше, чем из низинного.

2. Увеличение концентрации водорастворимых веществ в процессе кавитации имеет волнообразный характер, обусловленный параллельным течением процессов деструкции органических соединений торфа, обуславливающих

образование водорастворимых соединений и конденсации, обуславливающей переход в осадок продуктов конденсации.

3. Наибольший выход водорастворимых веществ при кавитации торфа и максимальное

их обогащение гуминовыми компонентами достигаются в течение 50–60 минут, дальнейшее кавитационное воздействие на суспензию торфа снижает их выход и оптическую плотность.

Литература

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу / Е. В. Аринушкина. М., 1962.
2. Бамбалов, Н. Н. Современное состояние и проблемы методики группового анализа органического вещества торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. Минск, 1974. С. 166–209.
3. Жаботинский, А. М. // Физическая химия: современные проблемы : ежегодник / А. М. Жаботинский. М. 1989. С. 6–7.
4. Орлов, Д. С. Химия почв : учебник / Д. С. Орлов. М., 1985. С. 216–219.
5. Соколов, Г. А., Смирнова, В. В., Бамбалов, Н. Н., Цвирко, Л. Ю. Влияние гидродинамической кавитации на выход гуминовых веществ из торфа / Г. А. Соколов [и др.] // Вестн НАН Беларуси. Сер. хим. наук. 2010. № 4. С. 112–117.
6. Schlenberger, W., Eschrich, K., Hofman, E. // Biochem., Biophys. Acta / W. Schlenberger, K. Eschrich, E. Hofman. 1984, Vol. 43. P. 227–231.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 26.03.2012

Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ НА ВЫХОД ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА

Под воздействием гидродинамической кавитации торфа в водном растворе увеличивается концентрация водорастворимых веществ в 2,6–6,8 раза по сравнению с исходным торфом, при этом общий выход водорастворимых веществ из верхового торфа в два раза выше, чем из низинного.

Увеличение концентрации водорастворимых веществ в процессе кавитации имеет волновой характер, обусловленный параллельным течением процессов деструкции органических соединений торфа, обуславливающих образование водорастворимых соединений и конденсации, обуславливающей переход в осадок продуктов конденсации.

Наибольший выход водорастворимых веществ при кавитации торфа и максимальное их обогащение гуминовыми компонентами достигаются в течение 50–60 мин, дальнейшее кавитационное воздействие на суспензию торфа снижает их выход и оптическую плотность.

L. U. Tsvirko, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov

IMPACT OF HYDRODYNAMIC CAVITATION ON THE OUTCOME OF WATER-SOLUBLE MATTERS FROM PEAT

Under the peat hydrodynamic cavitation impact in a water solution the water soluble matters concentration increases 2,6–6,8 times if compared to initial peat, making thus a total water soluble matters outcome from the raised-bog peat two times higher than from the low-mire one.

The water soluble matters concentration increase in cavitation process is of wave-like character, stipulated by parallel run of peat organic compounds destruction processes, stipulating water-soluble compounds formation and condensation, which stipulates transition into a sediment of condensation products.

The greatest water soluble matters outcome at peat cavitation and their maximal enrichment with humic components is reached within 50–60 min, a further cavitation impact on peat suspension decreases their outcome and optical density.

УДК 541.182+631.436

**А. Р. Цыганов, А. С. Самсонова, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова,
Н. Е. Сосновская, А. А. Хрипович, В. С. Пехтерева**

НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТОРФА И МИКРООРГАНИЗМОВ-ДЕСТРУКТОРОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Предложен новый композиционный материал на основе торфа и микроорганизмов – деструкторов нефти для удаления нефтяных загрязнений из объектов окружающей среды, эффективность применения которого апробируется в условиях полевого мелкоделяночного опыта на РУП «Экспериментальная база Свислочь» НАН Беларуси.

Нефть и нефтепродукты составляют особую группу поллютантов почвенного покрова территорий, на которых происходит добыча, транспортировка и переработка нефти. Такое загрязнение приводит к экологическому и экономическому ущербу – падению урожайности сельскохозяйственных культур, уменьшению продуктивности лесов и лугов, изъятию из хозяйственного землепользования значительных площадей плодородных земель. Поскольку на современном уровне развития нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности не представляется возможным исключить ее воздействие на окружающую среду, возникает необходимость разработки новых и совершенствование существующих технологий рекультивации нефтеагрязненных почв. В связи с разнообразием почвенно-климатических условий и стоимости мероприятий по рекультивации проблема поиска оптимальных и адаптированных к конкретным условиям методов остается весьма актуальной.

В зарубежной и отечественной практике имеется широкий спектр методов рекультивации нефтеагрязненных земель. Их можно условно разделить на четыре группы: физические (механические), физико-химические, химические и биологические. Выбор конкретного метода зависит от уровня загрязнения, состава нефти, давности загрязнения, свойств почвы, ландшафтных и климатических условий. Как правило, необходимо применение комплекса методов. Наиболее полная очистка от нефти и нефтепродуктов достигается переработкой загрязненных почв или грунтов в специальных технологических установках, весьма сложных и дорогостоящих, которая не приводит к восстановлению плодородия почв или функционирования природных экосистем.

В процессе воздействия углеводородов нефти на почву изменяются не только ее физико-химические характеристики, но и происходит обеднение почвы наиболее ценными питательными компонентами. В связи с этим актуальной экологической проблемой становится разработка технологии рекультивации, связанная не только с удалением загрязняющих веществ, но и с восстановлением баланса гумуса в почве путем внесения природного гумуссодержащего материала – торфа. Практика использования ряда

микробных препаратов для удаления нефтяных загрязнений во многих странах подтвердила перспективность применения для этих целей активных штаммов микроорганизмов-деструкторов нефти.

Иммобилизация клеток микроорганизмов на твердом носителе способствует повышению их биохимической активности и скорости деструкции загрязняющих веществ, защищая их от воздействия отрицательных факторов окружающей среды, накоплению большого количества активной биомассы на единицу очищаемого объема среды, а также увеличению контакта рабочего объема биомассы с метаболизируемым ею субстратом [2–7].

Выбор торфа в качестве носителя для иммобилизации микроорганизмов – деструкторов нефти определен не только его высокой нефтепоглощающей способностью, но и свойством сорбировать на своей поверхности клетки микроорганизмов-деструкторов, обеспечивая тем самым тесный контакт их с субстратом. Более того, торф, будучи природным органогенным материалом, служит источником гумуса и элементов дополнительного питания для иммобилизованных на нем микроорганизмов-деструкторов, способствуя тем самым созданию условий, необходимых для восстановления почв, нарушенных в результате загрязнения.

Сотрудниками Института микробиологии проведен скрининг микроорганизмов – деструкторов углеводородов нефти в лабораторной коллекции культур-деструкторов ксенобиотиков среди 78 штаммов. Были отобраны четыре наиболее активных по деструктивной и иммобилизационной способности штамма – КП7, КП8, КП11, КП19. В лабораторных условиях осуществлено наращивание этих микроорганизмов в виде культуральной жидкости для экспериментальных исследований.

Проведены лабораторные исследования по подбору оптимальной микробной нагрузки в композиционном материале, обеспечивающей эффективное разрушение загрязнителя.

С целью определения возможности применения композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов – деструкторов нефти для ускорения деградации нефти в почве на тер-

ритории экспериментальной базы «Свислочь» НАН Беларусь был заложен мелкоделяночный опыт. На предварительно подготовленной площадке $14,0 \times 7,5$ м путем разбивки выделяли участки $1,50 \times 1,50$ м. Закладку вариантов осуществляли на площадках $1,0 \times 1,0$ м в пределах предварительно обозначенных квадратов $1,50 \times 1,50$ м. Каждый вариант отделяли один от другого защитной полосой 0,5 м. Кроме того, повторности I и II отделяли от повторностей III и IV защитной полосой 2,0 м. Вариант 1 – контроль. На площадки варианта 2 путем равномерного разбрзгивания вносили сырью нефть в количестве $1,2 \text{ дм}^3$, что соответствовало величине загрязнения 100 ПДК. Это количество нефти также было внесено и в остальных вариантах мелкоделяночного опыта. Для локализации нефтяных загрязнений и в качестве носителя для штаммов микроорганизмов-деструкторов нефти в опытах использовали композиционный сорбционный материал на основе торфа в количестве 0,5 кг, исходя из нефтеемкости 3 кг/кг в вариантах опыта 3 и 5. В вариантах 4 и 5 на почву, загрязненную нефтью, вносили культуру микроорганизмов – деструкторов нефти рода *Rhodococcus* в соотношении 1:0,025, что составляло на 1 кг нефти 25 г сухих клеток или $8,4 \text{ дм}^3$ культуральной жидкости. Все компоненты задельвали в почву путем рыхления.

Контроль за динамикой разложения нефти в почве осуществляли путем отбора почвенных проб с периодичностью 30 дней для проведения химических и микробиологических анализов. На опытные делянки 2–5 через 2 месяца после закладки опыта вносили элементы минерального питания в виде комплексного удобрения нитроаммофоска 15–15–15 из расчета 120 кг на 1 га, или

12 г на 1 м^2 , что соответствует агрономической дозе внесения NPK, рекомендованной на однократное внесение без поправки на рыхление [1].

Внесения раскислителей на данном этапе не требовалось, так как pH солевой вытяжки почвы составил 5,86, а раскислители вносятся при значениях pH 4,5–5,5. Во время отбора проб проводили рыхление почвы для интенсификации газообмена и улучшения условий жизнедеятельности аэробных как аборигенных, так и интродуцированных микроорганизмов – деструкторов нефти.

Методика определения нефтепродуктов (НП) в почве основана на экстракции НП из почвы четыреххлористым углеродом с одновременной очисткой элюатов на оксиде алюминия в колонке. Концентрации углеводородов нефти в пробе определяли ИК-спектрофотометрическим методом.

Степень деградации нефти (S) рассчитывали по формуле:

$$S = 100 - C/C_0 \cdot 100,$$

где C – конечная концентрация нефти, мг/г; C_0 – концентрация внесенной нефти, мг/г.

Для микробиологических исследований использовали 1 г почвы, которую растирали в стерильных условиях и вносили в 100 мл воды. Численность популяции микроорганизмов учитывали методом серийных разведений при посеве в чашки Петри с агаризованной средой Е-8 (г/дм³): NaCl – 0,5; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – 1,5; KH_2PO_4 – 0,7; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,8; нефть – 0,1; pH 7,3.

Результаты химических и микробиологических анализов почвы в динамике приведены в табл. 1–3.

Таблица 1. Остаточная концентрация (C) и степень деградации (S) нефти в условиях полевого мелкоделяночного опыта

Вариант опыта	1-е сутки		30-е сутки		60-е сутки		90-е сутки	
	C_{cp} , мг/г	C_{cp} , мг/г	S , %	C_{cp} , мг/г	S , %	C_{cp} , мг/г	S , %	
1. Фон – почва	0,031	0,031	–	0,031	–	0,031	–	
2. Почва + нефть	25,36	18,11	28,6	17,12	32,5	16,19	36,2	
3. Почва + нефть + композиционный материал	25,13	15,48	38,4	14,66	41,6	13,38	46,8	
4. Почва + нефть + культура	25,10	14,75	41,2	12,01	52,2	11,52	54,1	
5. Почва + нефть + композиционный материал + культура	23,21	10,85	53,3	8,89	61,7	7,51	67,6	

Содержание нефти в варианте 2 (почва + нефть) уменьшилось на 28,6 % (30-е сутки) в результате испарения ее легких фракций. Незначительное изменение степени деградации (32,5 %, 60-е сутки и 36,2 %, 90-е сутки) можно объяснить протеканием естественных деструктивных процессов в нефтезагрязненной почве. При этом общая численность микроорганизмов снижается вследствие токсического воздействия углеводо-

родов нефти, а численность микроорганизмов – деструкторов нефти увеличивается почти в 2 раза по сравнению с исходной, что согласуется с данными микробиологического анализа почвы (табл. 2 и 3).

Несколько лучше протекают процессы деградации в варианте 3 (почва + нефть + композиционный материал), хотя и с невысокой скоростью. Некоторое увеличение скорости в данном

случае может быть объяснено участием в деструктивных процессах привнесенной с композиционным материалом естественной микрофлоры, рост численности которой подтверждается результатами, представленными в табл. 2 и 3.

Внесение микроорганизмов – деструкторов нефти в виде культуральной жидкости (вариант 4) приводит к увеличению степени деградации нефти, которая к 90-м суткам наблюдения составила 54,1 %, при этом отмечается рост численности микроорганизмов, в том числе и деструкторов нефти, с $0,28$ до $3,58 \cdot 10^8$ и с $0,28$ до $2,18 \cdot 10^7$ КОЕ/г почвы.

Иммобилизация микроорганизмов-деструк-

торов на композиционном материале стимулирует жизнедеятельность как аборигенных, так и интродуцированных микроорганизмов-деструкторов (табл. 2, 3). Композиционный материал на основе торфа защищает интродуценты от неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды и создает благоприятные условия для эффективного разрушения нефти. Применение композиционного материала в сочетании с микроорганизмами – деструкторами нефти приводит к интенсификации процесса разложения нефти по сравнению с вариантом 2 на 29,2 %, с вариантом 3 – на 20,1 с вариантом 4 – на 9,5 % (табл. 1).

Таблица 2. Динамика общей численности микроорганизмов в нефтезагрязненной почве в условиях мелкоделяночного полевого опыта

Вариант опыта	Количество микроорганизмов, КОЕ $\cdot 10^8$ /г абс. сух. почвы			
	1-е сут	30-е сут	60-е сут	90-е сут
Контроль	0,25	0,30	0,28	0,26
Почва + нефть	0,30	0,17	0,13	0,11
Почва + нефть + композиционный материал	0,24	0,47	0,79	0,83
Почва + нефть + культура микроорганизмов-деструкторов	0,28	0,81	3,92	3,58
Почва + нефть + культура микроорганизмов-деструкторов + композиционный материал	0,28	1,69	6,83	6,29

*КОЕ – колониеобразующие единицы.

Таблица 3. Динамика численности микроорганизмов – деструкторов нефти в почве в условиях мелкоделяночного полевого опыта

Вариант опыта	Количество микроорганизмов-деструкторов, КОЕ $\cdot 10^7$ /г абс. сух. почвы			
	1-е сут	30-е сут	60-е сут	90-е сут
Контроль	0,29	0,31	0,32	0,29
Почва + нефть	0,26	0,46	0,48	0,50
Почва + нефть + композиционный материал	0,30	0,98	1,01	1,07
Почва + нефть + культура микроорганизмов-деструкторов	0,28	2,13	2,16	2,18
Почва + нефть + культура микроорганизмов-деструкторов + композиционный материал	0,30	5,38	1,90	2,06

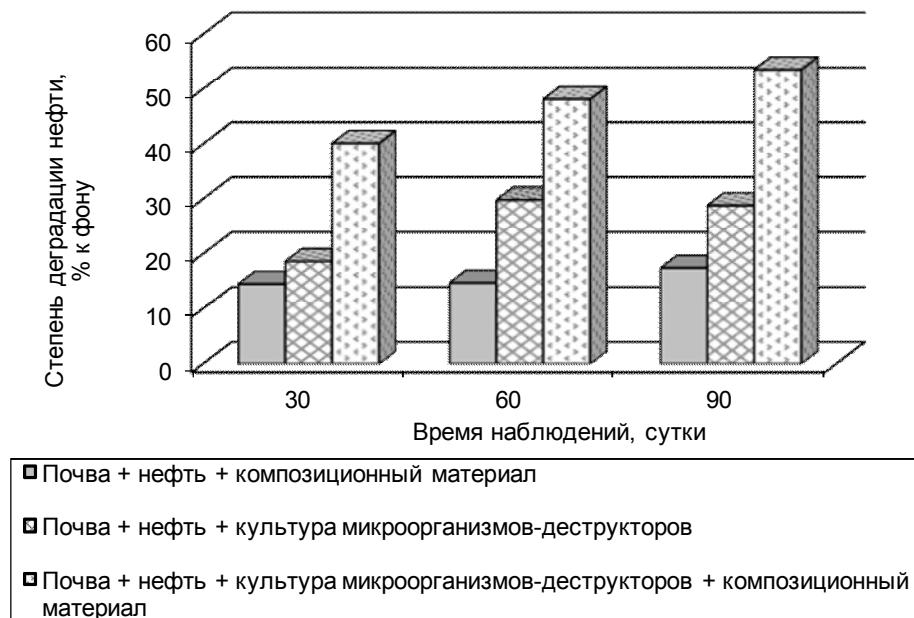
Общая численность микроорганизмов в почве варианта 5 к 60-м суткам увеличилась до $6,83 \cdot 10^8$ кл./г почвы по сравнению с контрольным вариантом – $0,28 \cdot 10^8$ кл./г почвы, что свидетельствует об активном восстановлении микробиоценоза почвы.

Различия в количественных показателях, характеризующих деструкцию нефти популяциями аборигенных и интродуцированных микроорганизмов в почве, загрязненной нефтепродуктами, составляют 12,6 % (30 суток): аборигенная микрофлора разрушает углеводороды на 28,6 %, а биоценоз, обогащенный микроорганизмами-деструкторами на 41,2 % (табл. 1).

Вклад культуры, иммобилизованной на композиционном материале, в увеличение степени деградации нефти по отношению к ее остаточному содержанию в фоновой нефтезагрязненной

почве (вариант 2) составил в варианте 3 – 17,4 %, в варианте 4 – 28,8 % и в варианте 5 – 53,6 % (рис. 1).

Результаты химических и микробиологических анализов прекрасно согласуются с визуальным контролем произрастания сорной растительности на опытных площадках. Как показано на рис. 2, через 30 дней от закладки опыта на учетной площадке варианта 2 произрастания сорняков практически не наблюдается, в то время как в варианте 3 с использованием композиционного материала и варианте 4 с внесением культуры микроорганизмов – деструкторов нефти отмечается появление единичных экземпляров растений, а в варианте 5 с применением композиционного материала в сочетании с культурой наблюдается распространение сорной растительности средней интенсивности.



**Рис. 1. Изменение степени деградации относительно фона
в условиях полевого мелкоделяночного опыта**



**Рис. 2. Участки мелкоделяночного полевого опыта перед отбором проб через 30 суток:
2 – почва + нефть; 3 – почва+ нефть + композиционный материал; 4 – почва + нефть + культура;
5 – почва+ нефть + композиционный материал + культура**

Через 60 дней от закладки опыта различие в зарастании учетных площадок становится еще более выраженным, что наглядно показано на рис. 3. Вариант 2 остался практически не зарос-

шим, на участках вариантов 3–5 сформировался довольно интенсивный растительный покров, в то время как контрольные площадки (без внесения нефти) заросли практически полностью.



Рис. 3. Общий вид мелкоделяночного полевого опыта перед отбором проб через 60 суток

Результаты исследований убедительно доказывают высокую эффективность применения предложенного композиционного материала для рекультивации нефтезагрязненных земель. В условиях мелкоделяночного полевого опыта за один вегетационный период степень деградации нефти в варианте опыта с применением композиционного материала в сочетании с микроорганизмами – деструкторами нефти составила 67,6 %, что на 31,4 % выше, чем в фоновой нефтезагрязненной почве.

Иммобилизация микроорганизмов-деструкторов на композиционном материале стиму-

лирует жизнедеятельность как аборигенных, так и интродуцированных микроорганизмов-деструкторов. Общая численность микроорганизмов в почве увеличилась более, чем в 20 раз по сравнению с контрольным вариантом, что свидетельствует об активном восстановлении микробиоценоза почвы.

Для ускорения процессов деградации нефти в почве определены агротехнические приемы, улучшающие воздушный, кислотный и влажностный режимы почвы, как необходимые элементы комплекса рекультивационных мероприятий.

Литература

1. **Вавер, В. И.** Методическое руководство по рекультивации нефтезагрязненных земель в условиях месторождений нефти Западной Сибири / В. И. Вавер. Нижневартовск, 1997.
2. **Габассова, И. М.** Использование органических добавок для стимуляции аборигенной микрофлоры нефтезагрязненной серой лесной почвы / И. М. Габассова // Экобиология: борьба с нефтяными загрязнениями окружающей среды : тез. докл. конф., Пущино. Ин-т биохимии физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрябина РАН ; редкол. А. М. Боронин. Пущино, 2001. С. 50–52.
3. **Габассова, И. М.** Рекультивация серой лесной почвы, загрязненной нефтяным шламом / И. М. Габассова // Нефтяное хозяйство. 2001. № 7. С.81–84.
4. **Ермоленко, З. М.** Влияние некоторых факторов окружающей среды на выживаемость внесенных бактерий, разрушающих нефть / З. М. Ермоленко [и др.] // Биотехнология. 1997. № 5. С. 33–38.

5. Способ биологической очистки почв от токсических органических соединений : заявка 96107454/13 Россия, МПК⁶ B 09 C1/10 / Г. К. Васильева, Э. Г. Суровцева, Л. П. Бахаева, В. Н. Башкин ; заявитель Ин-т почловедения и фотосинтеза РАН. № 96107454/13 ; заявл. 15.04.96 ; опубл. 10.10.98 // Изобрет. 1998. № 28. С.40.

6. Финкельштейн, З. И. Микробная деградация нефти и нефтепродуктов / З. И. Финкельштейн // Биотехнология защиты окружающей среды : тез. докл. конф., Пущино, 18–19 окт. 1994 г. / Ин-т биохимии физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрябина РАН. Пущино, 1994. С. 5–6.

7. Verfahren Zum microbiologischen Abbau halogenierter aliphatischer und aromatischer Kohlenwasserstoffe in kontaminierten Medien : пат.19730653 Германия, МПК⁶ A 62 D 3/00 / D. M. Wise. № 19730653.5 ; заявл. 17.07.97 ; опубл. 21.01.1999.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Институт микробиологии НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 28.03.2012

**A. Р. Цыганов, А. С. Самсонова, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова,
Н. Е. Сосновская, А. А. Хрипович, В. С. Пехтерева**

**НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТОРФА И
МИКРООРГАНИЗМОВ-ДЕСТРУКТОРОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

С целью разработки нового композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов – деструкторов нефти для удаления нефтяных загрязнений с объектов окружающей среды и проверки эффективности его применения проведен скрининг микроорганизмов-деструкторов углеводородов нефти из лабораторной коллекции культур-деструкторов ксенобиотиков среди 78 штаммов. Были отобраны четыре наиболее активных по деструктивной и иммобилизационной способности штамма – КП7, КП8, КП11, КП19. Подобрано оптимальное соотношение торфа и микроорганизмов-деструкторов нефти, определен наиболее подходящий вид торфа для их иммобилизации.

Разработана схема закладки модельного опыта, созданы модельные уровни нефтяного загрязнения; обосновано необходимое количество вносимого композиционного сорбционного материала и микроорганизмов – деструкторов нефти. Заложен полевой мелкоделяночный опыт на РУП «Экспериментальная база Свислочь» НАН Беларуси.

Отработан режим необходимых агротехнических мероприятий. Обоснованы и внесены необходимые дозы комплексных минеральных удобрений и раскислителей.

За период наблюдений (90 суток) степень деградации нефти в варианте опыта с применением композиционного материала в сочетании с микроорганизмами – деструкторами нефти составила 67,6 %, что на 31,4 % выше, чем в фоновой нефтезагрязненной почве.

**A. R. Tsiganov, A. S. Samsonova, A. E. Thomson,
T. V. Sokolova, N. E. Sosnovskaya, A. A. Khripovich, V. S. Pekhtereva**

**NEW COMPOSITE MATERIAL BASED ON PEAT AND MICRO-ORGANISMS-DESTRUCTORS
AND APPLICATION EFFICIENCY TO RE-CULTIVATE PETROL-POLLUTED SOILS**

For the purpose of working out a new composite material on peat and microorganisms – oil destructors basis to remove oil pollution from environment sites and to check its application efficiency the screening of microorganisms – destructors of oil hydrocarbons from a laboratory collection of cultures-destructors of xenobiotics among 78 types is carried out. Four most active regarding destructive and immobilizing ability types – KP7, KP8, KP11, KP19 were selected. The optimum parity of peat and oil microorganisms-destructors was chosen, the most suitable kind of peat for their immobilization is defined.

The scheme of placing of model test is developed, model levels of oil pollution are created; the necessary quantity of the composite sorption material and microorganisms – oil destructors is proved. A field test at a small plot at RUE «Experimental base Svisloch» NAS, Belarus was placed.

The mode of necessary agro-technical events is fulfilled. Necessary doses of complex mineral fertilizers and deoxidants are proved and brought in.

Within the observation period (90 days) a degree of oil degradation in a test variant with application of a composite material in combination with microorganisms – oil destructors has made 67,6 %, that by 31,4 % is higher, than in the background petrol-polluted soil.

УДК 622.331+582.284:66.081.3

**А. Э. Томсон, И. А. Гончарова, Т. В. Соколова, А. А. Балюта, Н. В. Иконникова,
Н. Е. Сосновская, А. А. Хрипович, В. С. Пехтерева**

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ СОРБЕНТОВ ВЛАГИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛОВ ОТ ПЛЕСНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ

Модификация торфа пероксидом кальция приводит к ингибиованию роста плесневых грибов на субстратах с легкодоступным источником углерода в замкнутом пространстве с повышенной влажностью воздуха. Эффективность ингибиования зависит от введенного количества пероксида кальция и вида торфа.

Основным фактором, влияющим на рост плесневых грибов, является относительная влажность воздуха и питательного субстрата. Микроскопические грибы активно развиваются в условиях повышенной влажности практически на всех материалах в широком температурном диапазоне. Процессу плесневого поражения материалов способствуют перепады температуры и относительной влажности воздуха, что, в свою очередь, вызывает увлажнение конструкций и образование конденсата на их поверхности [2].

Поддержание оптимального микроклимата в замкнутых объемах является серьезной проблемой. Один из путей профилактики плесневого поражения – использование сорбентов и материалов, связывающих избыточную влагу без пересушивания. С этой целью желательно использовать так называемые буферы влаги. В качестве буферов влажности используются различные материалы с сорбционными свойствами [3].

Известно, что полная влагоемкость торфа верхового, переходного и низинного типов лежит в пределах 640–3000 %, но самой высокой влагоемкостью (1400–4300 %) на фоне других видов торфа выделяется сфагновый торф моховой группы. Такой же высокой водопоглощаемостью характеризуются и их генетические предшественники – сфагновые мхи, способные поглощать воды в десятки раз больше собственной сухой массы [4].

Одна из особенностей строения сфагнума – наличие во всех вегетативных органах водоносных гиалиновых клеток, которые, будучи эластичными и пустотельными, предназначены для поглощения влаги из окружающей среды. Именно такое морфолого-анатомическое строение сфагновых мхов определяет их водно-физические свойства как при жизни, так и после отмирания. Малоразложившийся торф, образованный на основе сфагновых мхов на болотах верхового типа с бедным минеральным питанием, отличается высокой сохранностью неразложившейся растительной ткани мхов и небольшой примеси других растительных остатков. Так, если

в торфе, сформировавшемся на основе травянистых растений, кустарничков и древесных пород, почти не встречаются форменные остатки надземных частей этих торфообразователей, то верховой торф моховой группы низкой степени разложения (R) в большинстве своем представлен не только форменными остатками (листья, стебли, ветки), но и почти полностью сохранившимися растениями сфагнума [5].

Эту закономерность можно проследить по микрофотографиям мха *Sphagnum magellanicum* и сфагнового торфа со степенью разложения от 5 до 20 % (рис. 1), на которых отчетливо видна сохранность значительного количества гиалиновых клеток сфагнума в торфе с $R = 5\%$, уменьшающаяся с ростом степени разложения торфа. Высокая степень сохранности растительных тканей отмерших мхов в составе сфагнового торфа придает ему высокую способность к поглощению влаги из окружающей среды.

Цель исследования – оценить способность модифицированного торфа в качестве сорбента влаги для ингибирования развития плесневых грибов в замкнутых пространствах.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы верхового магелланум торфа со степенью разложения 15–20 % и зольностью 1,4 %, а также низинного осокового торфа со степенью разложения 20–25 % и зольностью 2,3 %. Модификацию торфа проводили пероксидом кальция в количестве от 1 до 5 % на сухую массу, пролонгированное фунгицидное действие которого основано на выделении активного кислорода в окружающую среду при его распаде в течение длительного времени.

Наличие среди продуктов распада пероксида кальция активного кислорода способствует проведению целого ряда окислительных процессов: отбеливание и обесцвечивание; устранение запахов в зоне действия препарата; проявление локального дезинфицирующего действия и др. [1].

Исследование способности модифицированного торфа в замкнутом пространстве ингибировать рост и развитие плесневых грибов про-

водили с использованием чашек Конвея. Чашка Конвея представляет собой сосуд, в центральной части которого впаяно стеклянное кольцо. Кольцо отделяет внешнюю камеру чашки от внутренней. Диаметр чашки составляет 7–8 см, диаметр внут-

реннего сосуда равен 3–4 см. Высота чашки – 1,5 см, высота внутреннего сосуда – 1,0 см. Чашка плотно закрывается хорошо пришлифованной стеклянной крышкой. Для получения герметичности шлиф смазывают вакуумной смазкой.

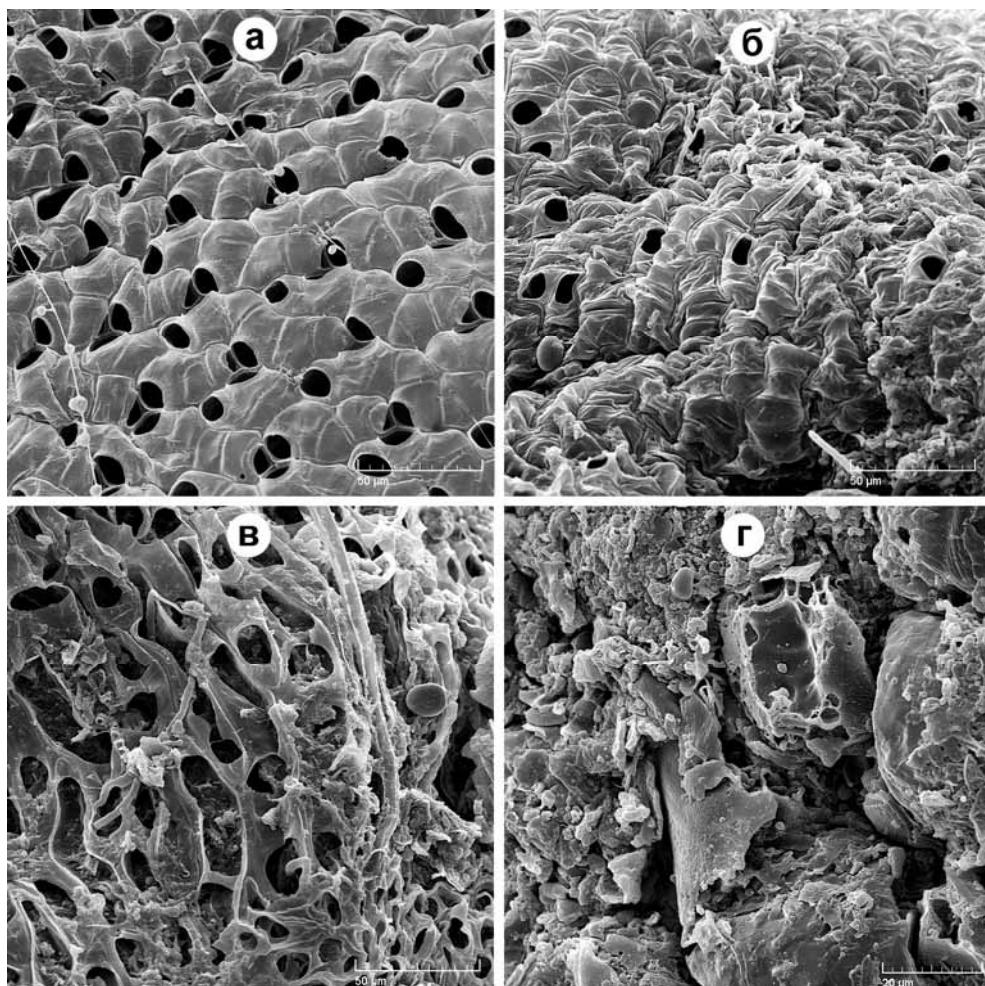


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки сфагнового мха (магелланикум) и сфагнового торфа с различной степенью разложения:
а – неразложившийся мох сфагnum магелланикум; б – магелланикум торф ($R = 5\%$);
в – магелланикум торф ($R = 15\%$); г – магелланикум торф ($R = 25\%$)

В работе использовали чашки Конвея, стерилизованные автоклавированием. Во внешнюю камеру чашек Конвея наливали по 5 мл расплавленной агаризованной среды Чапека. После застывания среды ее инокулировали уколом спорами микроскопического гриба *Aspergillus niger*. Во внутреннюю камеру чашек помещали кюветы с 100 мг торфа, предварительно высушенного до постоянной массы при температуре 95 °С. Чашки герметично закрывали крышками и

помещали в суховоздушный термостат с температурой 28 °С.

В течение 7 суток проводили оценку роста гриба. После извлечения кювет с обратной стороны чашек измеряли радиус колоний по расстоянию от места посева до края гифальной зоны. Кюветы с торфом взвешивали для определения количества поглощенной влаги и вновь помещали в чашки. Опыты проводили в трехкратной повторности. Результаты представлены на рис. 2 и в табл. 1 и 2.

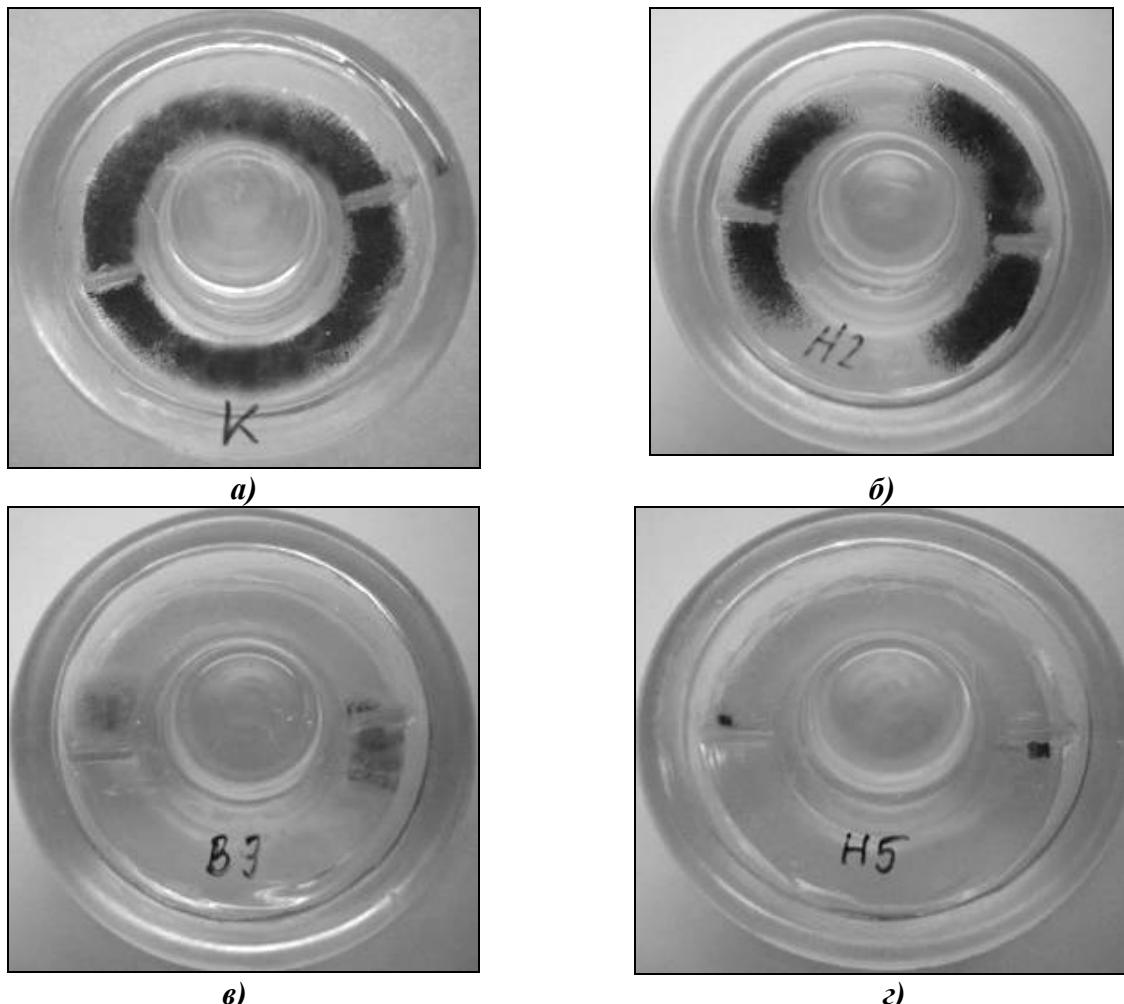


Рис. 2. Влияние модифицированного торфа на развитие плесневого гриба *Aspergillus niger* через 7 суток экспозиции: а – контроль; б – низинный торф + 2 % CaO₂; в – верховой торф + 2 % CaO₂; г – низинный торф + 5 % CaO₂

Таблица 1. Рост колоний гриба *Aspergillus niger* в чашках Конвея с низинным торфом с различным содержанием пероксида кальция

Варианты опыта	Средний радиус колоний, мм				
	1-е сутки	2-е сутки	3-е сутки	4-е сутки	7-е сутки
К – контроль	1,8	5,6	16,7	33,2	40,0
Н-К – исходный торф	1,0	3,2	14,3	21,2	39,8
Н-1 – торф + 1 % CaO ₂	0,6	4,8	12,0	18,4	38,2
Н-2 – 2 % CaO ₂	0,4	2,7	9,5	16,1	34,9
Н-3 – 3 % CaO ₂	–	–	2,5	5,0	12,6
Н-4 – 4 % CaO ₂	–	–	–	2,5	7,8
Н-5 – 5 % CaO ₂	–	–	–	–	–

Таблица 2. Рост колоний гриба *Aspergillus niger* в чашках Конвея с верховым торфом с различным содержанием пероксида кальция

Вариант опыта	Средний радиус колоний, мм				
	1-е сутки	2-е сутки	3-е сутки	4-е сутки	7-е сутки
К – контроль	1,6	6,0	15,3	30,0	40,0
Н-К – исходный торф	0,6	4,1	10,1	14,6	26,4
Н-1 – торф + 1 % CaO ₂	0,3	3,0	8,5	12,5	22,6
Н-2 – 2 % CaO ₂	–	1,8	5,3	8,8	15,9
Н-3 – 3 % CaO ₂	–	–	2,2	4,9	10,7
Н-4 – 4 % CaO ₂	–	–	–	–	–
Н-5 – 5 % CaO ₂	–	–	–	–	–

Введение в торф модифицирующей добавки замедляет прорастание грибных спор по сравнению с контролем и исходным верховым и низинным торфом. Наблюдается прямая зависимость ингибирующей способности модифицированного торфа от количества введенного пероксида кальция. Так, введение 1–2 % CaO_2 в низинный торф замедляет рост и развитие грибных колоний, а при введении 3–4 % CaO_2 отмечается ингибирование роста тест-культуры на 2–3-е сутки. Полное подавление развития гриба *Aspergillus niger* за весь период наблюдения достигается путем введения в низинный торф 5 % CaO_2 .

Аналогичная тенденция отмечается и в опытах с верховым торфом. Замедление прорастания грибных спор начинается уже на 1-е сутки при введении 2 % CaO_2 , а полное ингибирование роста и развития колоний *Aspergillus niger* происходит при более низком содержании пероксида кальция – 4 % на сухую массу торфа.

Количество поглощенных паров воды исходным и модифицированным торфом, присутствующим в чашках Конвея, оценивали по отношению массы поглощенной воды к массе сухого торфа (S , г/г).

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 3 и 4, показывает, что количество поглощенной влаги находится в прямой зависимости от количества введенной модифицирующей добавки, что, в свою очередь, коррелирует со способностью модифицированного торфа ингибировать рост плесневых грибов, согласно результатам экспериментов, представленных в табл. 1 и 2. Следовательно, можно предположить, что причиной ингибирования роста колоний гриба *Aspergillus niger* является снижение влажности воздуха в замкнутом пространстве чашек Конвея за счет поглощения воды модифицированным торфом.

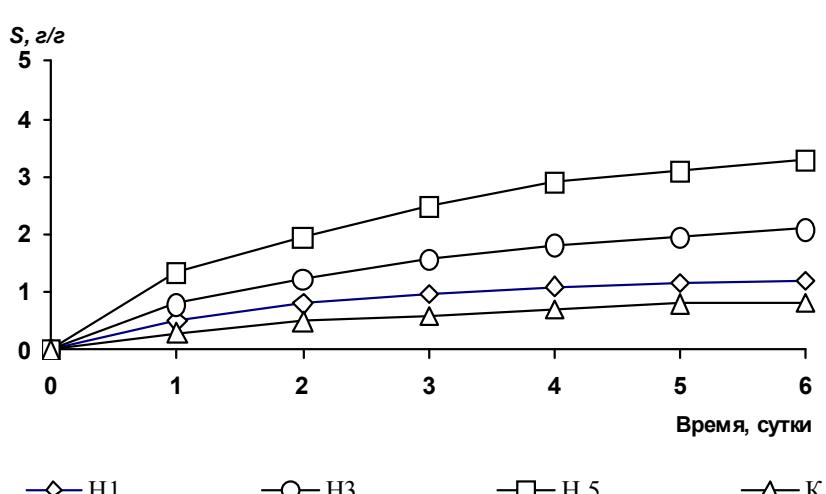


Рис. 3. Кинетика поглощения паров воды низинным торфом с различным содержанием пероксида кальция

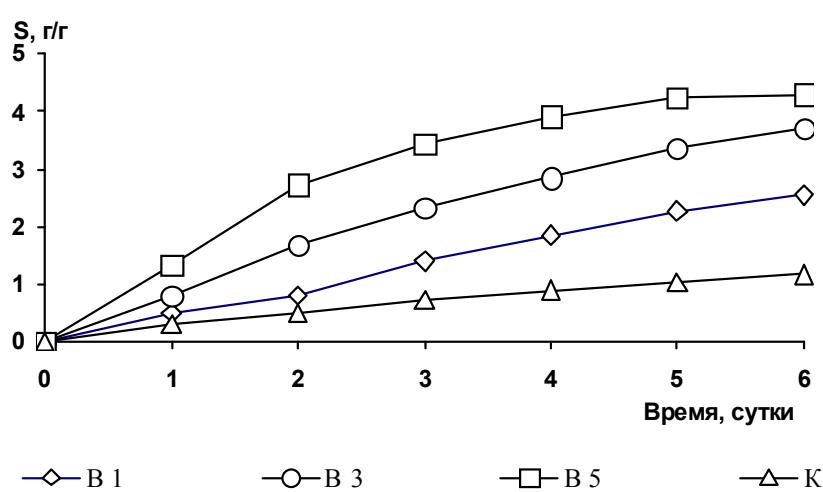
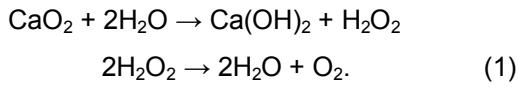


Рис. 4. Кинетика поглощения паров воды верховым торфом с различным содержанием пероксида кальция

С увеличением влажности торфа активизируется процесс разложения пероксида кальция (по реакции 1), сопровождающийся выделением активного кислорода, который оказывает фунгистатическое действие, возрастающее с ростом количества введенной добавки:



Таким образом, присутствие модифицированного торфа в замкнутом пространстве с повышенной влажностью способно ингибировать рост плесневых грибов даже на субстратах с легкодоступным источником углерода. Эффективность ингибирования зависит от введенного количества пероксида кальция и вида торфа. Полное подавление развития тест-культуры гриба *Aspergillus niger* достигается путем введения в низинный торф 5 %, а в верховой – 4 % пероксида кальция на сухое вещество.

Литература

1. Вольнов, И. И. Перекисные соединения щелочноземельных металлов / И. И. Вольнов. М., 1983.
2. Каневская, И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Каневская. Л., 1984.
3. Марфенина, О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов / О. Е. Марфенина. М., 2005.
4. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. Минск, 1987.
5. Томсон, А. Э., Наумова, Г. В. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. Минск, 2009.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Институт микробиологии НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 5.03.2012

**А. Э. Томсон, И. А. Гончарова, Т. В. Соколова, А. А. Балюта,
Н. В. Иконникова, Н. Е. Сосновская, А. А. Хрипович, В. С. Пехтерева**

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ СОРБЕНТОВ ВЛАГИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛОВ ОТ ПЛЕСНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ

С целью оценки возможности использования модифицированного торфа в качестве сорбента влаги для профилактики развития плесневых грибов в замкнутом пространстве проведена модификация торфа верхового и низинного типов пероксидом кальция. Установлено, что количество поглощенной влаги находится в прямой зависимости от введенной модифицирующей добавки и коррелирует со способностью ингибировать рост плесневых грибов. Эффективность ингибирования также зависит от вида торфа. Полное подавление развития тест-культуры гриба *Aspergillus niger* достигается путем введения в низинный торф 5 %, а в верховой – 4 % пероксида кальция на сухое вещество.

**A. E. Tomson, I. A. Goncharova, T. V. Sokolova, A. A. Baluta,
N. V. Ikonnikova, N. E. Sosnovskaya, A. A. Khripovich, V. S. Pekhtereva**

STUDYING OF THE EFFICIENCY OF PEAT MOISTURE SORBENTS TO PROTECT MATERIALS FROM MOULD DEFEATS

*In order of estimating the possibility of the modified peat use as a sorbent of moisture to prevent development of mould fungi in closed space the updating of raised-bog and low-mire peat types by calcium peroxide has been done. It has been found, that the quantity of the absorbed moisture is in direct dependence on the introduced modifying additive and correlates with ability to inhibit growth of mould fungi. Efficiency of inhibition also depends on a peat kind. Full suppression of the development of test culture of fungus *Aspergillus niger* is reached by introduction in fen peat 5 %, and into the raised bog peat – 4 % of calcium peroxide per dry matter.*

УДК 662.813:732

П. Л. Фалюшин, И. И. Лиштван, В. В. Мулярчик, В. М. Дударчик,
А. А. Ницевич, И. С. Нашкевич, Е. В. Ануфриева, Н. А. Булгакова

УТИЛИЗАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПИРОЛИЗОМ ИХ СМЕСИ С ТВЕРДЫМИ ГОРЮЧИМИ ИСКОПАЕМЫМИ

Предложен способ утилизации углеводородсодержащих отходов переработки нефтепродуктов пиролизом их смесей с твердыми горючими ископаемыми. В качестве смесевых компонентов предлагается использовать торф или бурье угли, а также углеводородсодержащие отходы на примере отходов ОАО «Завод горного воска». Показано, что оптимальной по соотношению компонентов является смесь, содержащая не более 30 % отходов. Получаемый пиролизный газ имеет теплоту сгорания свыше 5000 ккал/нм³.

Одной из нерешенных экологических проблем в настоящее время является утилизация все возрастающих объемов углеводородсодержащих отходов нефтепереработки, на что обратили внимание директивные органы. Поручением Совета Министров Республики Беларусь от 8 июня 2010 года № 03/312–272, 535–95 предусмотрена реализация системы мер по вовлечению углеводородсодержащих отходов в топливный баланс страны. Законодательные правила в области обращения и использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива установлены в техническом кодексе установившейся практики ТКП 17.11–01–2009. «Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива».

Известны различные способы утилизации углеродсодержащих отходов. Наиболее эффективным считается термический метод. Распространение получили следующие методы сжигания нефтешламов: во вращающихся барабанных печах, в печах с кипящим слоем теплоносителя, в объеме топки с использованием форсунок, в топке с барабажными горелками. Термический метод позволяет совместно с нефтешламами сжигать загрязненные фильтры, промасленную ветошь, твердые бытовые отходы. Образующиеся при этом вторичные отходы относятся к 4-му классу опасности и подлежат вывозу на полигоны захоронения. Объем вторичных отходов по сравнению с первоначальным уменьшается до 10 раз.

Однако использование таких отходов в качестве топлива неэффективно по ряду причин и в первую очередь по причине выброса значительных количеств канцерогенных поллютантов. Гораздо менее опасным в плане экологии является двухстадийное сжигание, когда на первой стадии топливо подвергают термическому разложению с образованием горючих газов, а на второй его сжигают с получением тепловой энергии с дальнейшим преобразованием при необходимости ее в электрическую. При таком способе сжигания количество экологически опасных выбросов существенно минимизируется.

Для решения задачи утилизации углеводородсодержащих нефтеотходов представляет интерес использование пиролиза смеси отходов с твердым топливом с получением однородной консистенции, которую удобно перемешивать и передвигать по реторте в горизонтальном подвижном слое. В случае использования отдельно углеводородсодержащих отходов нагрев приводит к их расплавлению, что усложняет ведение технологического процесса.

Цель работы – оценка возможности утилизации углеводородсодержащих отходов в смеси с твердыми горючими ископаемыми методом пиролиза с получением высококалорийного горючего газа и снижением экологически опасных выбросов загрязняющих веществ.

Характеристика объектов и методов исследования.

В качестве объектов исследования были использованы следующие материалы: углеводородсодержащие отходы ОАО «Завод горного воска» (ОГЗВ) с количественным составом ингредиентов, представленных на рис. 1.

В качестве твердого топлива выбраны: низинный торф с $W = 18,6\%$, $A^c = 11,3\%$; бурый уголь, $W = 15,3\%$, $A^c = 17,0\%$; кокс бурого угля Бриневского месторождения, полученный на крупнолабораторной установке по пиролизу в подвижном слое при температуре $700\text{ }^\circ\text{C}$, соответствующие характеристики которого приведены в табл. 2 (см. далее).

В работе были использованы дериватограф марки Од-103 для исследования термической устойчивости выбранных смесей, пиролизер для проведения термического разложения исследуемых смесей.

Термоустойчивость смесей определяли в диапазоне температур $20\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ с регистрацией потерь масс и тепловых эффектов в определенных температурных интервалах.

На рис. 2–6 представлены дериватограммы образцов торфа, бурого угля и их смесей с углеводородсодержащими отходами ОАО «Завод горного воска».

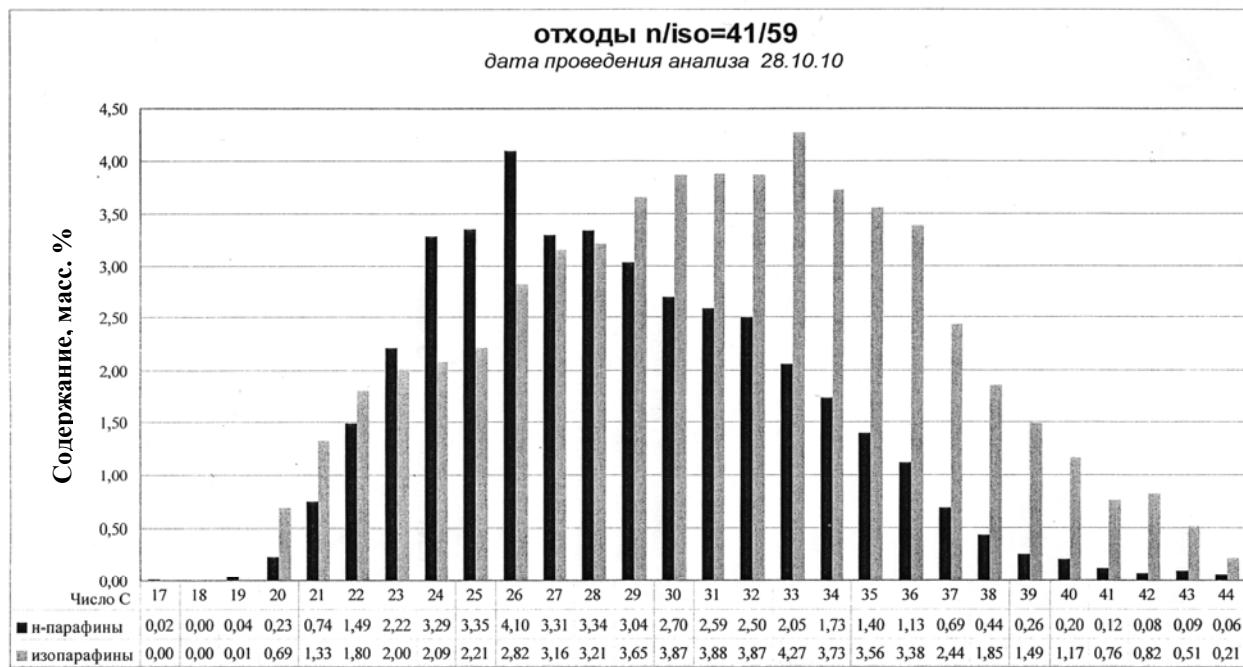


Рис. 1. Состав углеводородсодержащих отходов ОАО «Завод горного воска»

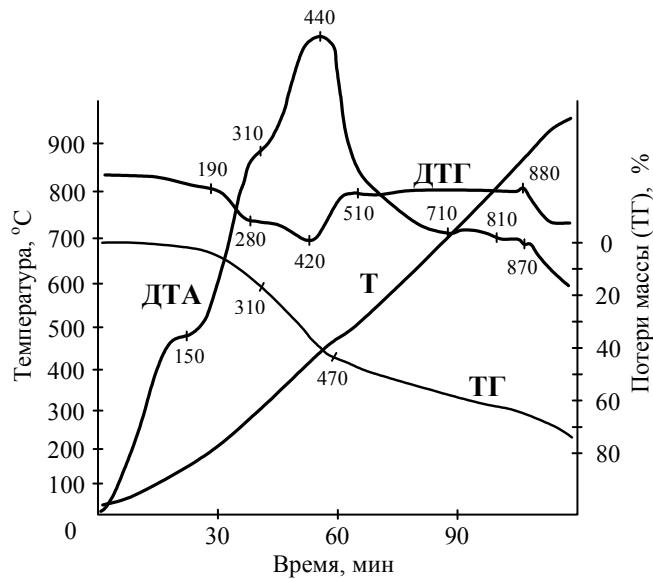


Рис. 2. Термический анализ торфа (дериватограмма)

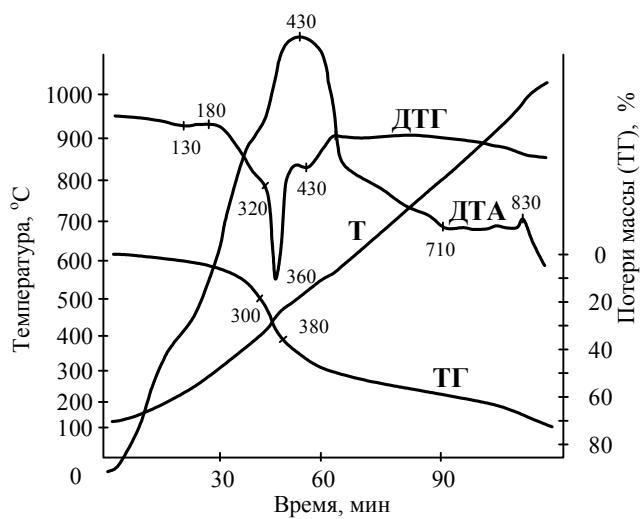


Рис. 3. Термический анализ композиционного топлива (смесь торфа с 10 % ОЗГВ)

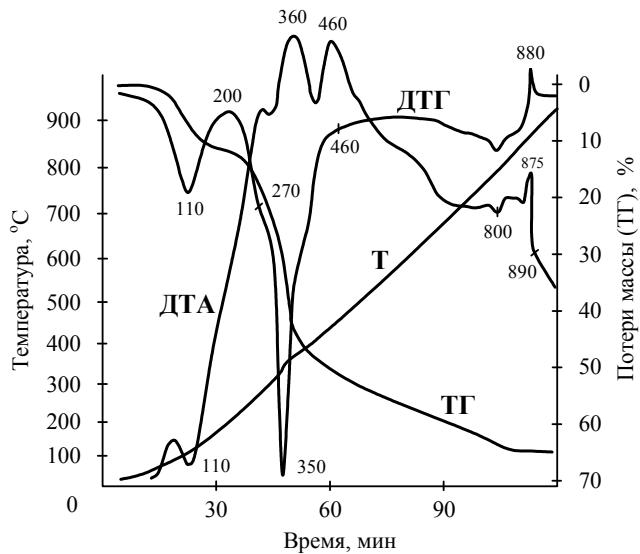


Рис. 4. Термический анализ композиционного топлива (смесь торфа с 20 % ОЗГВ)

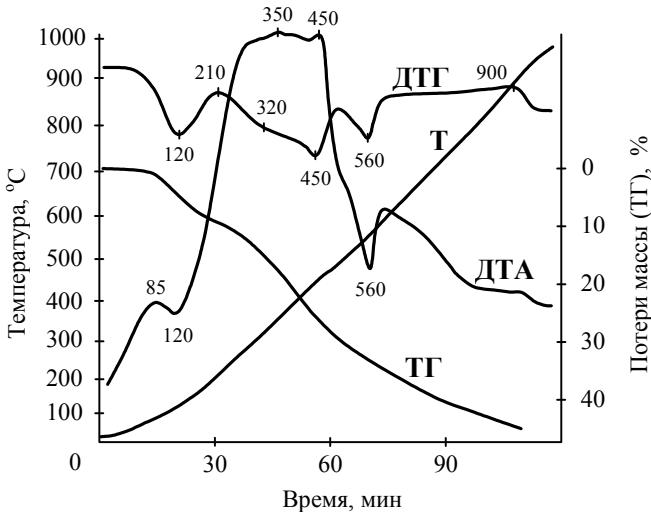


Рис. 5. Термический анализ бурого угля (дериватограмма)

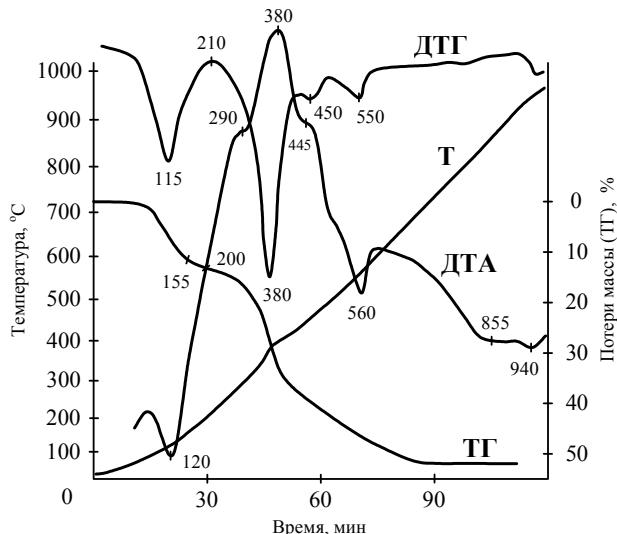


Рис. 6. Термический анализ композиционного топлива (смесь бурого угля с ОГЗВ, соотношение 9:1)

На кривых ДТГ смесевых топлив в интервале температур 320–380 °С отчетливо проявляется пик, характеризующий процесс испарения летучих продуктов, которыми являются углеводороды, содержащиеся в отходах или продукты их термической деструкции. Данный эффект подтверждается на всех дериватограммах для об-

разцов, содержащих указанные отходы. Причем, увеличение концентрации углеводородных отходов закономерно увеличивает его интенсивность. В табл. 1 представлены количественные результаты потерь масс чистых топлив и их смесей с отходами.

Таблица 1. Потери массы вещества различных проб и смесей твердых топлив

Наименование пробы	До 200 °C	200–500 °C		500–700 °C	700–900 °C	500–900 °C	до 900 °C
		200–350	350–500				
Торф	27,98	40,47		12,50	16,67	26,79	97,62
		23,21	17,26				
Торф +10 % ОЗГВ	25,57	43,93		13,11	17,05	30,16	99,67
		26,23	17,70				
Торф +20 % ОЗГВ	16,76	60,54		10,27	9,19	19,46	96,76
		34,59	25,95				
Бурый уголь	13,12	17,03		12,77	10,64	23,41	53,56
		5,32	11,71				
Уголь +10 % ОЗГВ	10,36	24,43		12,58	11,10	23,69	58,47
		8,14	16,28				

В диапазоне температур до 500 °C сумма потерь масс, а следовательно, и количество летучих веществ существенно выше у смесевых топлив. Для определения качественных характеристик газовой фазы был проведен пиролиз указанных смесей на лабораторной установке по пиролизу твердых материалов в горизонтальном пиролизере со шнековым перемещением сырья в реторте. Условия проведения опыта: температура пиролиза 600–800 °C, скорость нагрева 50–60°/мин., время пиролиза порядка 20 мин. Как известно, конечная температура пиролиза и скорость нагревания сырья являются основными параметрами, влияющими на выход, состав и свойства продуктов термического разложения

твердых и жидкых топлив, растительной биомассы и горючих отходов.

Пиролиз двухкомпонентных смесей парфинсодержащих отходов проведен с торфом, бурыми углами и коксом в подвижном слое при разных соотношениях компонентов и исследован состав продуктов пиролиза. Твердый пористый материал (торф и др.) сорбирует жидкую фазу и может оказывать катализитическое воздействие на процесс термического разложения органических отходов, создавать приемлемую консистенцию и способствовать продвижению материала по длине пиролизера. Полученные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2. Пиролиз смесей углеводородсодержащих отходов с торфом, бурыми углями и коксом в подвижном слое, фракция 2–3 мм

Состав смеси	W, %	A ^c , %	T, °C	Получаемый кокс			Состав газа, %							Выход, нм ³ газа на 1 кг навески
				W, %	A ^c , %	Выход кокса, %	CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄	Q, ккал/нм ³	ΔQ, %	
Бурый уголь	20,8	14,0	800	7,8	21,5	62,5	9,8	0,5	33,3	46,4	10,1	3190	-	0,38
Торф+10 % ОЗГВ	23,5	10,8	800	5,9	27,0	34,3	16,7	8,5	26,2	33,5	15,2	4125	29,3	0,67
Торф+20 % ОЗГВ	23,5	10,8	800	6,8	30,0	30,4	14,1	8,6	26,4	34,3	16,6	4295	34,7	0,73
Торф+30 % ОЗГВ	23,5	10,8	800	4,3	23,0	29,2	11,9	12,8	22,5	32,5	20,4	5029	57,6	0,93
Торф+50 % ОЗГВ	23,5	10,8	800	-	-	-	9,8	10,5	17,3	33,2	29,2	5326	67,0	0,31
Бурый уголь +10 % ОЗГВ	20,8	12,9	800	3,8	21,2	54,4	12,7	6,9	26,6	37,9	15,8	4095	28,4	0,41
Бурый уголь +20 % ОЗГВ	20,8	12,9	800	3,2	20,3	45,5	12,7	10,2	21,7	37,1	18,2	4580	43,6	0,58
Бурый уголь +30 % ОЗГВ	20,8	12,9	800	4,5	19,0	45,1	11,2	14,8	19,0	32,0	23,1	5420	70,0	0,50
Кокс+20 % ОЗГВ	5,4	16,6	700	3,5	23,5	62,0	7,8	19,9	10,3	29,6	33,1	6652	109,5	0,25
Кокс+20 % ОЗГВ	5,4	16,6	800	2,4	22,7	55,9	5,9	13,9	13,7	34,8	31,6	5932	86,5	0,25

Примечание. Кокс получен из бурых углей Бриневского месторождения на крупнолабораторной установке по пиролизу в подвижном слое (РУП ЭБ «Свислочь»); ΔQ, % – процент увеличения теплотворной способности пиролизных газов смесевых топлив относительно пиролиза бурого угля

В бинарной смеси (торф + углеводородсодержащие отходы) с повышением концентрации отходов от 10 до 30 % при 800 °C в газе растет содержание углеводородов и, соответственно, теплота сгорания, превышающая 5000 ккал/нм³. Та же картина наблюдается при пиролизе смеси бурого угля и кокса бурого угля с углеводородсодержащими отходами. Так, при пиролизе смеси буроугольного кокса с 20 %-ным содержанием отходов теплота сгорания газа составила 6650 ккал/нм³, что связано с повышенным содержанием в газе углеводородов за счет снижения доли диоксида углерода.

Таким образом, пиролиз в подвижном слое смеси торфа и углеводородсодержащих отходов увеличивает как количественный выход пиролизного газа, так и его качественный состав. В составе газа пиролиза растет содержание непредельных углеводородов и метана, содержание водорода снижается, а суммаmonoоксида углерода и водорода (синтез-газ) составляет не более 60 %. При этом за счет увеличения доли более калорийной составляющей непредельных углеводородов и метана суммарное значение теплоты сгорания газа существенно возрастает. Показано, что увеличение доли парафиносодержащих

отходов в смеси приводит к увеличению содержания углеводородов в пиролизном газе, увеличивает его теплоту сгорания и выход. Однако при соотношении парафиносодержащих компонентов в смеси выше 30 % пиролиз протекает неполно, что снижает как выход газа, так и долю углеводородов в его составе. Поэтому при практической реализации предлагаемого способа утилизации углеводородсодержащих отходов в смеси с торфом или бурым углем содержание отходов в пиролизуемой смеси следует ограничить 20–30 %. Получаемый пиролизный газ смесевых топлив можно использовать как для прямого сжигания в котлах, так и в когенерационных установках при получении электрической и тепловой энергии.

Совместно с представителями ОАО «Завод горного воска» предложенный способ утилизации углеводородсодержащих отходов признан перспективным в плане его практической реализации в будущем, тем более, что объемы указанных отходов в республике значительны и продолжают существенно возрастать. В дальнейшем для проведения более широких экспериментальных исследований предложено оборудовать экспериментальный участок.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 24.02.2012

**П. Л. Фалюшин, И. И. Лиштван, В. В. Мулярчик, В. М. Дударчик,
А. А. Ницевич, И. С. Нашкевич, Е. В. Ануфриева, Н. А. Булгакова**

УТИЛИЗАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПИРОЛИЗОМ ИХ СМЕСИ С ТВЕРДЫМИ ГОРЮЧИМИ ИСКОПАЕМЫМИ

Предложен способ утилизации углеводородсодержащих отходов переработки нефтепродуктов пиролизом их смесей с твердыми горючими ископаемыми. В качестве смесевых компонентов предлагается использовать торф или бурые угли, а также углеводородсодержащие отходы на примере отходов ОАО «Завода горного воска». На основе данных по термоустойчивости композиционных топлив, пиролизу указанных смесей и анализу получаемых продуктов установлено, что оптимальной по соотношению компонентов является смесь, содержащая не более 30 % отходов. Получаемый пиролизный газ имеет теплоту сгорания свыше 5000 ккал/нм³ и его можно использовать для прямого сжигания в котлах или когенерационных установках при получении электрической и тепловой энергии.

**P. L. Falushin, I. I. Lishtvan, V. V. Mulyarchik, V. M. Dudarchik,
A. A. Nitsevich, I. S. Nashkevich, E. V. Anufrieva, N. A. Bulgakova**

UTILIZATION OF HYDROCARBON-CONTAINING WASTE BY PYROLYSIS OF ITS MIXTURE WITH SOLID FOSSILS

An utilization method of hydrocarbon-containing waste of oil products processing by their mixtures pyrolysis with solid fossils has been suggested. It has been suggested to use peat or brown coals and hydrocarbon-containing waste as example of waste of «Plant of mountain wax» Ltd. as mixing components. On the basis of data of thermal stability of composite fuels, pyrolysis of the stated mixtures and analysis of the made produce it has been found that an optimal by ratio components is a blend with not more than 30 % waste. The obtained pyrolysis gas has a calorific value above 5000 Kkal/nm³ and may be utilized for direct combustion in boilers or cogeneration sets to produce power and heat energy.

**П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова**

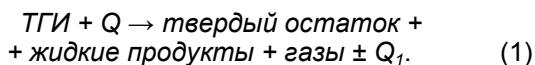
ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ БУРЫХ УГЛЕЙ ЛЕЛЬЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлены результаты термохимических исследований образцов бурых углей Лельчицкого месторождения в зависимости от их зольности, глубины отбора, содержания гуминовых кислот и других характеристик.

Показано, что угли Лельчицкого месторождения обладают более высокой термоустойчивостью, чем Бриневские, имеют два максимума выделения летучих продуктов – около 450 и 560 °С, что указывает на их сходство с дериватограммами горючих сланцев Туровского месторождения.

Термическая деструкция включает две основные группы химических реакций: термическое разложение веществ топлив с образованием продуктов меньшей молекулярной массы и термосинтез – реакции, протекающие между исходными веществами или продуктами их разложения. Обе группы реакций протекают последовательно и параллельно, их интенсивность в процессе термической деструкции изменяется неравномерно. На каждой стадии процесса может преобладать любая из указанных групп реакций.

В конечном итоге в результате термической деструкции твердых горючих ископаемых образуются твердые, жидкие и газообразные продукты. Общая схема процесса может быть изображена следующим образом:



Известно, что при нагревании твердых горючих ископаемых до 200–500 °С наблюдается выделение H_2O , CO_2 , CO , CH_4 . Эта стадия термической деструкции представляет собой эндотермический процесс, в котором тепло расходуются на испарение воды, выделение газов, активацию макромолекул органических веществ и термическое расщепление наименее прочных связей.

В работах, выполненных в последние годы, показано, что при поглощении энергии в макромолекуле наиболее «нагруженными» оказываются связи на концевых участках молекулярной цепи. Диссоциация одинарной ковалентной связи на концевом участке цепи может происходить при температуре около 300 °С. Таким образом, газовыделение, наблюдаемое в относительно низкотемпературной (до 250 °С) области процесса термической деструкции, может быть связано также с отщеплением концевых групп макромолекул. Выход летучих веществ в этой области температур невелик и для углей не превышает, как правило, 2–3 %.

Термостойкость высокомолекулярных веществ твердых горючих ископаемых зависит от многих факторов – наличия развитой системы ароматического полисопряжения и способности к

ее формированию при нагреве, концентрации парамагнитных центров (ПМЦ), степени сшивки структуры макромолекул, плотности их упаковки и других факторов. В результате взаимодействий, которые протекают между молекулами веществ углей на стадиях, предшествующих интенсивному терморазложению и образованию летучих продуктов, уменьшается концентрация ПМЦ, повышается степень упорядоченности структуры, в том числе плотность упаковки макромолекул. Снижается также количество веществ, извлекаемых различными органическими растворителями, и образуются более сшитые и в целом более термически устойчивые структуры, чем в исходной органической массе топлива.

При 400 °С преобладают реакции термического разложения и увеличивается скорость образования летучих веществ. Эта группа реакций протекает с поглощением тепла. При нагревании спекающихся углей выше 350–380 °С начинается образование нелетучих жидкофазных продуктов и наблюдается переход углей в пластическое состояние – гетерофазную систему, состоящую из твердых частиц и нелетучих жидкофазных составляющих, которые образуют в совокупности пластическую массу. В ней распределены летучие продукты термодеструкции, удаляющиеся по мере дальнейшего нагревания системы (ассимиляции ею энергии). В области температур пластического состояния (380–550 °С) суммарная энергия активации процесса составляет для различных углей 30–100 кДж/моль.

Принято считать, что одним из механизмов распада основной цепи макромолекул является радикально-цепной. К температуре 400 °С в структуре макромолекул веществ углей отмечается увеличение числа непредельных связей. Это возможно в результате распада основной цепи, миграции атома водорода от одного радикала к другому и образования непредельного соединения. Часть непредельных связей образуется вследствие протекания реакций дегидратации. Наибольшее количество «пирогенетической» воды при термической деструкции углей низких и средних стадий метаморфизма образуется в интервале температур 400–500 °С. Более высокой

реакционной способностью при нагревании до 400 °C обладают менее метаморфизированные угли, содержащие больше кислорода (бурые, а из каменных углей – газовые). При термической обработке большинства углей до 400 °C содержание оксигрупп (фенольных, спиртовых) в твердом остатке увеличивается. Это объясняется расщеплением эфирных групп и комплексно связанных фенольных.

Отсутствие роста концентрации ПМЦ при термодеструкции углей до 550 °C может быть связано с высокой скоростью рекомбинации, ассоциации и других превращений образующихся радикалов. В зоне температур 400–450 °C, где скорость образования летучих веществ, а следовательно, и скорость реакции разложения велики, возрастают интенсивность группы реакций термосинтеза вследствие большой реакционной способности веществ нагреваемой органической массы. Соотношение этих групп реакций при дальнейшем нагревании изменяется в зависимости от вида твердых горючих ископаемых. Как правило, для большинства углей максимум скорости образования летучих продуктов соответствует стадии развития процесса, при которой выделилось 0,2–0,35 частей от общей массы летучих продуктов. К 550 °C образование смолистой части летучих веществ практически завершается.

При температурах выше 550 °C в процессе термодеструкции реакции циклизации и ароматизации интенсифицируются. Вместе с тем в результате взаимодействия образующихся продуктов формируются более высокомолекулярные полициклические системы сетчатого строения. При термодеструкции спекающихся углей наблюдается резкий, протекающий в узком интервале температур – около 30–50 °C – необратимый переход из пластического состояния в твердофазное, и к 600 °C образуется твердый углеродистый продукт, называемый полукоксом.

Дальнейшее повышение температуры нагревания сопровождается протеканием реакций ароматизации и полициклизации с отщеплением газообразных продуктов, преимущественно водорода, и в меньшем количестве – метана, оксида углерода, азота. Содержание углерода в твердом остатке термической деструкции увеличивается. При температурах, близких к 700 °C, наблюдается второй максимум скорости образования аммиака (первый максимум относится к температурам 350–500 °C). Происходит упорядочение усадка и уплотнение структуры, увеличиваются размеры кристаллитных графитоподобных систем. К 900 °C завершается превращение полукокса в кокс – высококарбонизированный материал, который может иметь вид монолитного формирования или мелких зерен в зависимости от свойств исходного угля, его способности переходить в пластическое состояние. При достаточ-

ном содержании нелетучих жидкофазных продуктов на стадии пластичности происходит спекание угольных зерен с образованием при переходе в полукокс монолитного материала, превращающегося затем в кокс.

Термическая деструкция твердых горючих ископаемых, находящихся на низкой стадии метаморфизма (торфов, бурых углей), протекает примерно по тем же общим закономерностям, что и термическая деструкция углей. Содержание в них большого количества кислорода в виде функциональных и эфирных групп, а также в других формах обуславливает меньшую термическую устойчивость этих видов топлива. Их термическое разложение наступает при более низких температурах. В результате термической деструкции торфов и бурых углей образуется большое количество низкомолекулярных летучих продуктов в виде паров смол и газов, а также твердый углеродистый остаток, в котором содержание углерода возрастает по мере увеличения температуры термической обработки. Нелетучие жидкофазные продукты практически не образуются, т. е. стадия перехода в пластическое состояние отсутствует.

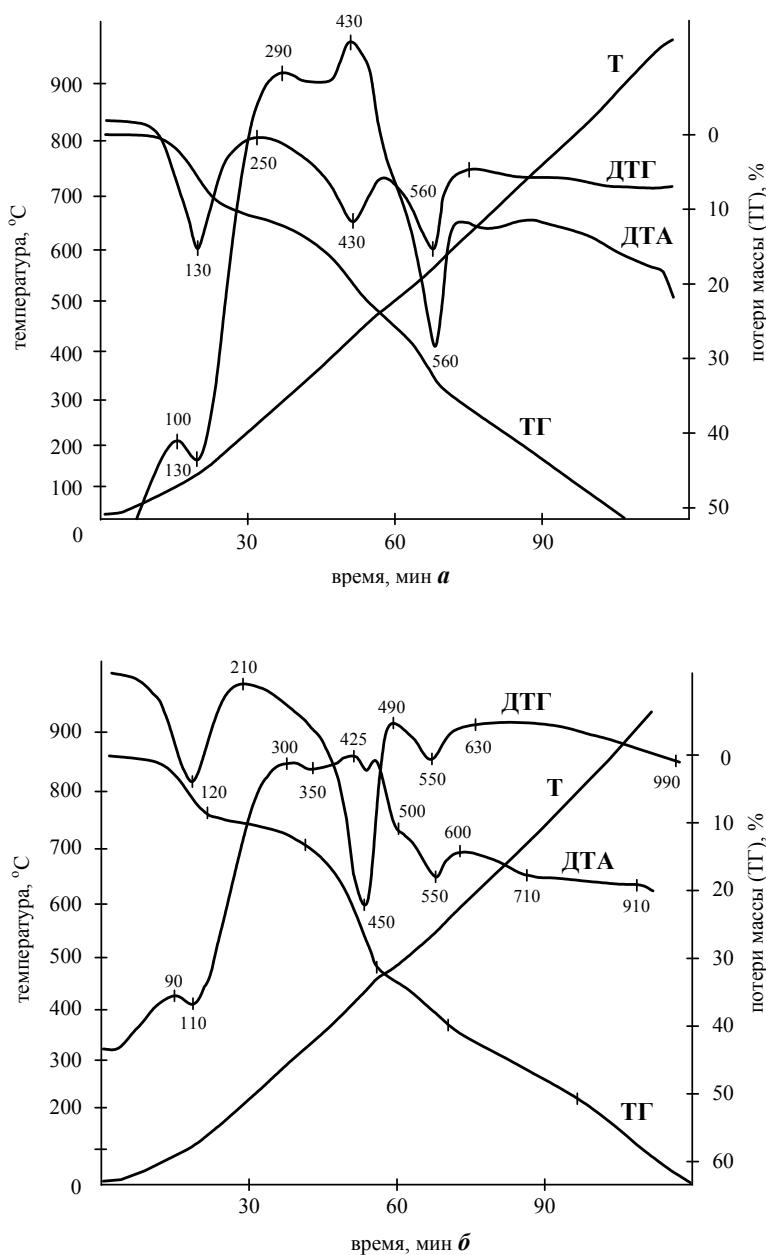
Особенностью термической деструкции топлив высокой стадии метаморфизма (слабоспекающиеся, тонкие угли, антрациты), поскольку их структура отличается большим числом развитых полиароматических образований и высокой степенью сшитости, является протекание в основном реакций отщепления от макромолекул относительно небольших групп и боковых цепей с последующей циклизацией и упорядочением структуры. При нагревании таких топлив выход смол незначителен.

Термический анализ (ТА) применяется для изучения свойств вещества и процессов, происходящих в нем при нагревании или охлаждении по заданной программе: он проводится с помощью специальной аппаратуры (дериватограф и др.) [1, 4, 6, 8]. Благодаря своим широким возможностям ТА используется во многих областях науки и техники. Объектами исследования служат самые разнообразные вещества: соли, минералы, почвы, твердые горючие ископаемые и др. [2, 3, 5].

Исследование бурых углей Лельчицкого месторождения проводили на дериватографе ОД-103 до конечной температуры 900 °C в атмосфере парогазов. Навеска образца составляла 0,4 г. В табл. 1 представлена характеристика образцов бурых углей, выбранных для термохимических исследований [8], а на рис. 1–3 кривые ТА соответствующих образцов. Выборка достаточно большого количества образцов объясняется значительным различием их по качественным показателям и в особенности по зольности (от 9 до 73 %).

Таблица 1. Характеристика образцов бурых углей Лельчицкого месторождения

№ пробы / скважины	Глубина отбора, м	W^c , %	A^c , %	Выход летучих веществ, % на ОВ	Содержание ГК, % на ОВ	Рабочая теплота сгорания Q_H^p , ккал/кг
1/1	104,4–105,5	10,2	43,5	47,2	11,5	2635
15/8	227,7–228,8	9,5	25,9	63,4	10,1	4575
25/9	152,0–153,5	6,4	70,4	32,1	29,7	–
28/9	288,9–290,0	7,6	73,4	71,1	8,5	–
32/9	380,4–381,4	15,6	9,0	45,3	8,5	4929
36/9	385,5–386,7	15,1	22,9	43,8	10,8	4260
39/11	129,9–131,0	10,1	34,8	49,5	11,6	3650
43/11	139,3–140,5	12,1	26,4	48,5	10,8	3890
51/25	124,4–126,0	23,4	19,3	46,2	не опред.	3620

**Рис. 1. Кривые термического анализа бурых углей Лельчицкого месторождения:
а – проба 1; б – проба 15**

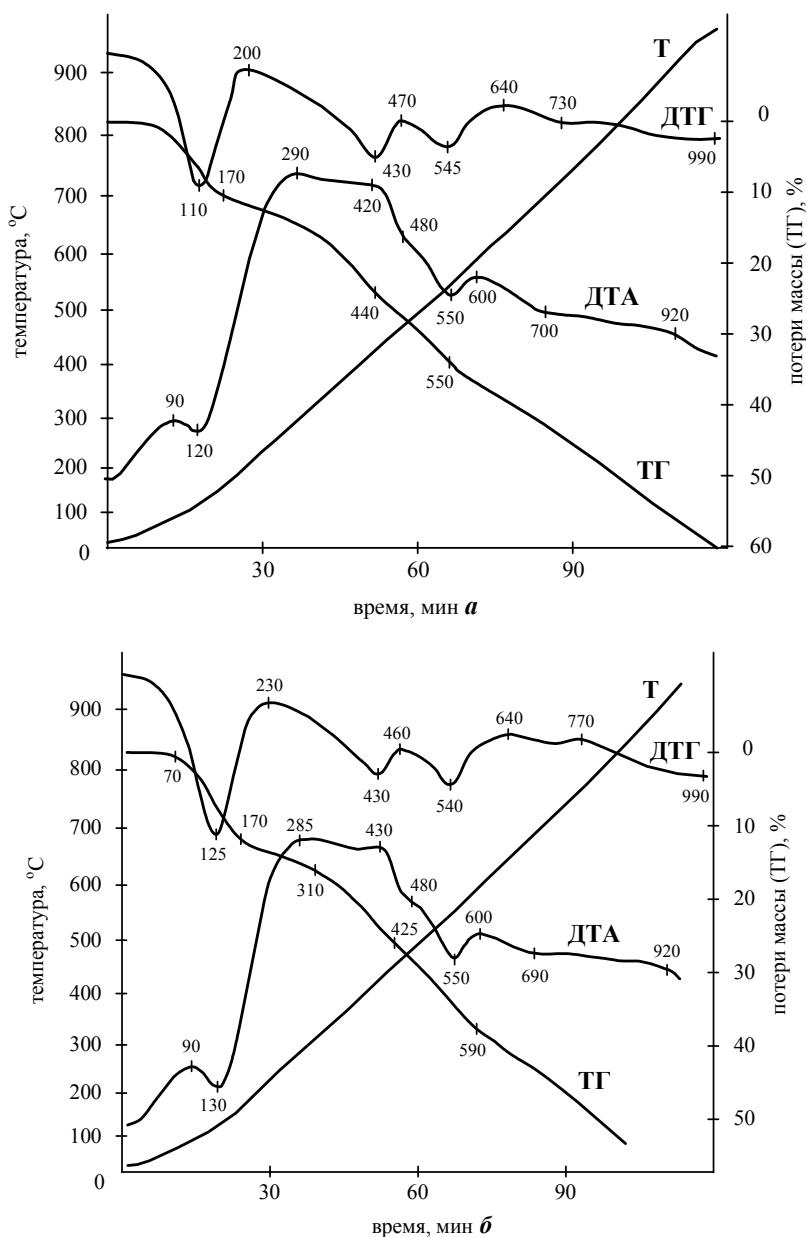


Рис. 2. Кривые термического анализа бурых углей Лельчицкого месторождения:
а – проба 39; б – проба 43

При нагревании образцов углей до 120–160 °С происходит удаление влаги с эндотермическим эффектом (кривая ДТА) с параллельной фиксацией потери массы на кривых ТГ и ДТГ. Следующим этапом является процесс термического разложения органического вещества, который протекает с экзотермическим эффектом с максимумом при 290 °С, обусловленный, по-видимому, изомеризацией, т.е. структурными изменениями вещества без заметного изменения химического состава. На начальной стадии деструкции протекают также процессы дегидратации и декарбоксилирования с получением воды и диоксида углерода.

Процесс наиболее интенсивного термического разложения начинается после 300 °С и достигает максимальных значений в области 400–450 °С. При этом фиксируется второй экзотермический эффект на ДТА, ответственный за термохимические превращения гуминовых веществ и синтез на их основе новых более термоустойчивых соединений, скорость потерь масс при этом возрастает. С повышением температуры этот экзоэффект переходит в эндотермический пик с максимумом при 530–570 °С (кривые ДТА и ДТГ). В этой области температур происходит термораспад наиболее термостабильных органоминеральных соединений. Основное коли-

чество летучих соединений в виде паров смолы, воды и газов выделяется до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. В интервале $600\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ процессы термического разложения протекают в твердой фазе с выделением горючих газов – CO , H_2 , CH_4 . Основная масса смолы и газообразных углеводородов выделяются в интервале $300\text{--}560\text{ }^{\circ}\text{C}$. Состав газов изменяется в зависимости от температуры термического разложения. Содержание водорода иmonoоксида углерода в составе пиролизного газа с повышением температуры растет, содержание CO_2 достигает максимума при $560\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем доля ее падает до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет роста содержания в парогазовой смеси других компонентов. Максимальное содержание предельных и непредельных углеводородов приходится на диапазон $430\text{--}560\text{ }^{\circ}\text{C}$: при $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет распада оксиароматических и гетероциклических фрагментов, при $550\text{--}570\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет термораспада органоминеральных комплексов.

нием температуры растет, содержание CO_2 достигает максимума при $560\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем доля ее падает до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет роста содержания в парогазовой смеси других компонентов. Максимальное содержание предельных и непредельных углеводородов приходится на диапазон $430\text{--}560\text{ }^{\circ}\text{C}$: при $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет распада оксиароматических и гетероциклических фрагментов, при $550\text{--}570\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет термораспада органоминеральных комплексов.

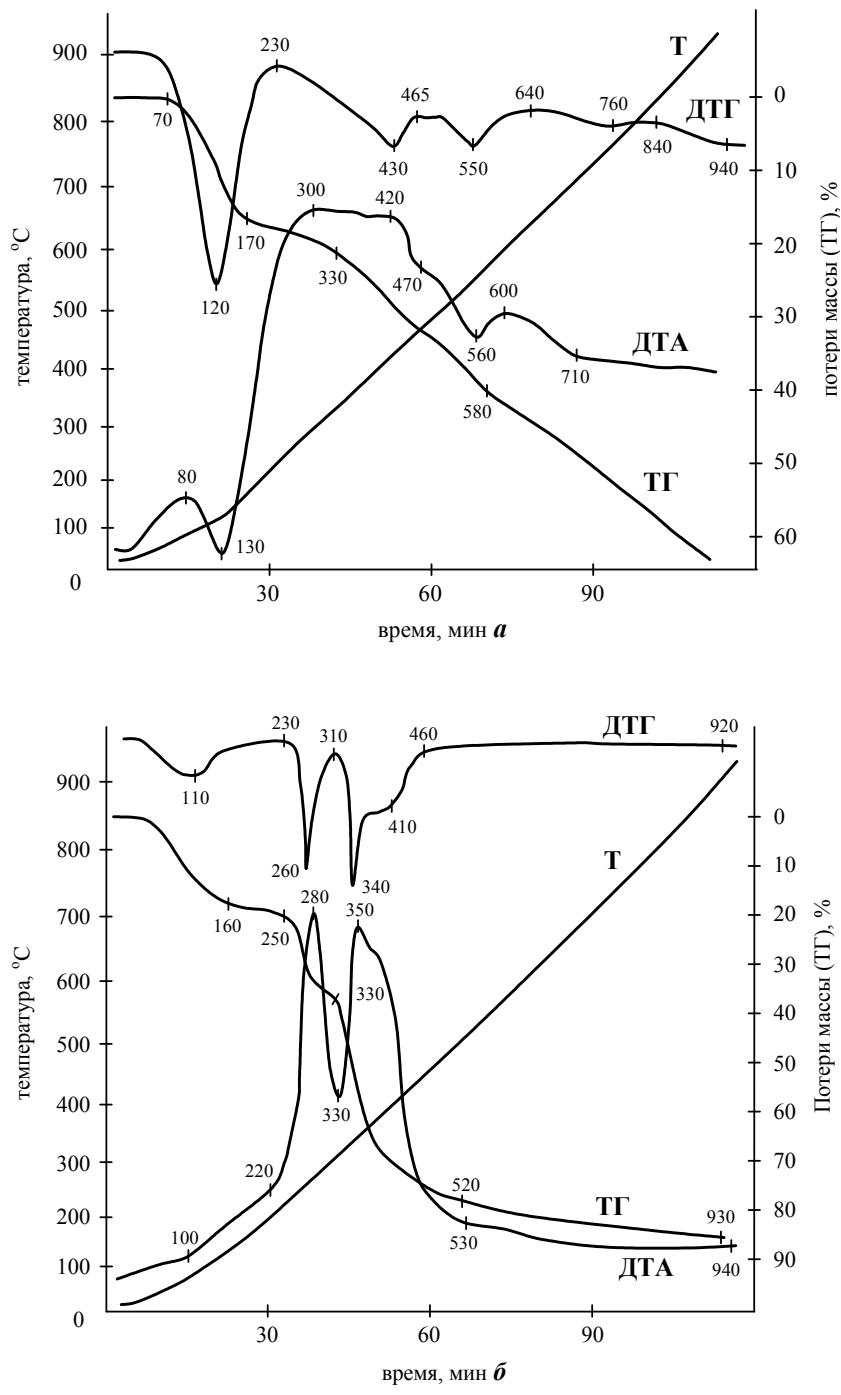


Рис. 3. Кривые термического анализа бурых углей Лельчицкого месторождения, проба 51:
а – в режиме пиролиза; б – в режиме сжигания в токе кислорода

В табл. 2 представлены потери массы представленных образцов в различных температурных интервалах.

При рассмотрении влияния химического состава углей на результаты ТА установлено, что с повышением содержания гуминовых веществ более отчетливо фиксируется экзотермический эффект на кривой ДТА в области 400–450 °C и соответствующий пик на ДТГ (пробы 1 и 25). Термораспад гуматов и органоминеральных веществ носит ступенчатый характер. Окончательное термическое разложение, к примеру, гумата кальция происходит в области 500–560 °C с эндоэффектом и образованием жидких продуктов, газов, карбонатов. Затем, выше 700 °C, протекает термическая диссоциация карбоната кальция до CaO и CO₂ с эндоэффектом и последующим восстановлением CO₂ до CO.

При сравнении ранее полученных нами данных ТА неогеновых углей Бриневского месторождения с исследованиями образцов Лельчицкого месторождения следует отметить следующее

[7]. Угли Лельчицкого месторождения обладают более высокой термоустойчивостью, что отражается в меньшем выходе летучих соединений и, соответственно, более высоком выходе твердого остатка. Если скорость потери массы при ТА углей Бриневского месторождения достигает максимального значения в области 400 °C [9], то для Лельчицких углей отмечены два максимума выделения летучих продуктов – около 450 и 560 °C, которые носят ступенчатый характер. Этот факт свидетельствует о том, что большая часть летучих соединений (смола, газ, вода) явились результатом термораспада органоминеральных соединений углей, а также о более высокой степени метаморфизма углей и, соответственно, о более высоком содержании углерода и низком кислородсодержащих соединений. Содержание гуминовых веществ в них в 4–6 раз ниже, чем в углях Бриневского месторождения и падает с глубиной отбора образцов, что указывает на их более высокую стадию метаморфизма.

Таблица 2. Потери массы вещества проб бурых углей Лельчицкого месторождения, %

№ пробы	До 200 °C	200–500 °C		500–900 °C		До 900 °C
		200–350 °C	350–500 °C	500–700 °C	700–900 °C	
1	8,45	13,22		22,22		43,89
		3,94	9,28	12,66	9,56	
15	9,33	22,24		22,59		54,16
		3,95	18,29	11,84	10,75	
25	6,83	13,17		18,54		38,54
		4,63	8,54	9,27	9,27	
28	6,41	6,85		16,57		29,83
		1,99	4,86	9,28	7,29	
32	14,82	17,86		17,86		50,54
		4,38	13,48	12,13	5,73	
36	7,04	15,37		25,62		48,03
		4,16	11,21	14,09	11,53	
39	10,54	16,72		24,72		51,98
		5,45	11,27	12,36	12,36	
43	12,08	15,44		22,15		49,67
		4,70	10,74	12,75	9,4	
51-а	15,92	14,12		25,70		55,74
		4,34	9,78	13,39	12,31	
51-б	20,88	56,51		8,60		85,99
		12,29	44,22	6,14	2,46	

Метод термического анализа углей показал их сходство с горючими сланцами Туровского месторождения [10], которое выражается в двухстадийном выделении летучих соединений (430–450 и 540–570 °C) и внешнем сходстве образцов, особенно образцов с повышенным содержанием глинистой составляющей (сланцевый бурый уголь). Также отмечена еще одна особенность – относительно высокий выход смолы при пиролизе отдельных в том числе высокозольных образцов, достигающий 15 % (для сравнения у горючих сланцев данный показатель составляет 8–10 %). По этому показателю бурые угли Лельчицкого месторождения имеют сходство также с длиннопленными каменными углами марки Д. Необходимо провести исследование состава и свойств

жидких, твердых и газообразных продуктов пиролиза высокозольных углей, близких по термическим характеристикам к горючим сланцам.

На рис. 3, б приведена дериватограмма угля (проба 51, скважина 25), полученная в режиме горения, на которой отчетливо фиксируется процесс воспламенения при 220 °C с экзотермическими эффектами на ДТА и соответствующим пиком на кривой ДТГ с максимумом при 280 °C. Фиксируется горение летучих веществ (газов) при 350 °C и 410 °C (горение смолы и твердого остатка), сопровождаемое высокой скоростью потери массы. Общая потеря массы угля при горении в условиях термического анализа составляет около 85 %. Процесс горения Лельчицких углей также отличается от горения неогеновых

углей Бриневского месторождения наличием двух максимумов на кривых ДТГ и ДТА.

Представленные результаты указывают на некоторое сходство структуры органического вещества Лельчицких бурых углей и Туровских

горючих сланцев, что может являться дополнительным подтверждением перспективности идеи их совместного пиролиза в установках с твердым теплоносителем с целью увеличения выхода жидких продуктов.

Л и т е р а т у р а

1. **Беляев, А. А.** Сжигание высокозольного топлива и возможности его использования на ТЭС / А. А. Беляев // ХТТ. 2005. № 1. С. 44–53.
2. **Кузнецов, Б. Н.** Катализ химических превращений угля и биомассы / Б. Н. Кузнецов. Новосибирск, 1990.
3. **Кузнецов, Б. Н.** Термокаталитические процессы при получении химических продуктов из природных органических полимеров ископаемых углей и биомассы / Б. Н. Кузнецов // ХТТ. 1999. № 2. С. 3–14.
4. **Кричко, А. А.** Гидрогенизация твердых топлив / А. А. Кричко // Развитие углехимии за 50 лет : Тр. ИГИ. М., 1984. С. 52–88.
5. **Крапчин, И. П.** Перспективы производства синтетического жидкого топлива из углей // ХТТ. 2004. № 5. С. 59–65.
6. **Кудинов, Ю. С.** Уголь сегодня, завтра: технология, экология, экономия / Ю. С. Кудинов. М., 2001.
7. **Кричко, А. А.** Прогресс в области получения жидкого топлива гидрогенизацией углей / А. А. Кричко, А. С. Малолетнев, В. В. Заманов // ХТТ. 2004. № 6. С. 32–42.
8. **Лиштван, И. И.** Качественные характеристики бурых углей Лельчицкого углепроявления / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. 2010. Вып. 18. Минск, 2010. С. 142–148.
9. **Лиштван, И. И.** Пиролиз бурых углей Бриневского месторождения Республики Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // ХТТ. 2009. №3. С. 20–25.
10. **Фалюшин, П. Л.** Термоустойчивость и скоростной пиролиз смесей горючего сланца и сапропеля / П. Л. Фалюшин [и др.] // Природопользование. 2010. Вып. 17. Минск, 2010. С. 152–157.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 20.02.2012

П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, В. М. Крайко, Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова

ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ БУРЫХ УГЛЕЙ ЛЕЛЬЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлены результаты термохимических исследований образцов бурых углей Лельчицкого месторождения в зависимости от их зольности, глубины отбора, содержания гуминовых кислот и других характеристик.

Показано, что угли Лельчицкого месторождения обладают более высокой термоустойчивостью, чем неогеновые угли класса B1, что отражается в меньшем выходе летучих соединений. Если скорость потери массы углей Бриневского месторождения достигает максимального значения в области 400 °C, то для Лельчицких углей отмечены два максимума выделения летучих продуктов – около 450 и 560 °C, которые носят ступенчатый характер. Это указывает на аналогию Лельчицких углей и горючих сланцев Туровского месторождения как по кривым ТА, так и по внешнему их сходству, особенно образцов с повышенным содержанием глинистой составляющей (сланцевый бурый уголь).

P. L. Falushin, V. M. Dudarchik, V. M. Kraiko, E. V. Anufrieva, E. A. Smolyachkova

THERMAL STABILITY OF BROWN COALS OF THE LELCHITSY DEPOSIT

Results of thermal-chemical investigation of brown coals samples of Lelchitsy deposit depending on their ash content, selection depth, humic acids content and other features have been presented.

It has been shown that the Lelchitsy deposit coals have higher thermal stability than neogenic B1 class ones, what results in lesser outcome of volatile compounds. If the rate of mass loss of the Brinevichi deposit coals reaches maximal value in the range of 400 °C so two maximums of volatile products has been marked for the Lelchitsy coals – about 450 и 560 °C , that have graded character. This specifies as analogue of Lelchitsy coals and fuel shales of Turov deposit by both derivation grams and their appearance similarity, especially of higher clay component content samples (shale brown coal).

УДК 621.89

**Т. Я. Царюк, В. П. Стригуцкий, Л. Д. Шапорева, Ю. Ю. Навоша,
И. П. Фалюшина, И. В. Дребенкова**

ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ УГЛЕВОДОРОДНЫХ КАНАТНЫХ СМАЗОК

Исследована термоокислительная стабильность канатных углеводородных смазок в процессе их применения. Методами ЭПР и ИК-спектроскопии изучен механизм окисления смазок при различных температурах. Исследовано влияние окисления смазок на их физико-химические и защитные свойства.

Безаварийная служба стальных канатов, используемых в многочисленных подъемно-разгрузочных устройствах и машинах, в значительной мере обусловливается применением высококачественных канатных смазок. Эти смазки используются не только для обеспечения технологических процессов производства стальных канатов, но и для их длительной сохранности при эксплуатации. Канатные смазки способствуют уменьшению трения и износа как внутренних, так и наружных проволок при работе канатов на блоках, предотвращают образование на проволоках местного охрупчивания из-за трения и ударов, испытываемых канатом в процессе работы. Для удовлетворения таких жестких производственных требований канатная смазка должна обладать высокой адгезией к металлу, механической и термической стабильностью, морозостойкостью, оптимальной вязкостью, низкой испаряемостью, не вызывать коррозию металла, защищать металл как в толстом, так и в тонком слое.

При производстве канатов используют в основном два способа нанесения смазок на проволоку: подача смазки в конус свивки и смазывание движущихся прядей и каната из расплава в проходных ваннах, установленных между вытяжным и приемным механизмами. Смазка к прядям и канатовьющим машинам подается по системе трубопроводов от централизованной установки для разогрева смазки, при этом технология консервации канатов углеводородными смазками предусматривает разогрев этих смазок до 80–120 °C. Кроме того, опыт применения смазок показал, что после разогрева их с помощью огневого устройства при транспортировке в зимнее время битумовозами уровень эксплуатационных свойств смазок значительно снижается. Это вызвало необходимость оценки изменения функциональных свойств смазок при нагреве до температур, возникающих при температурном максимуме в районе жировой трубы битумовоза.

В связи с этим вопрос термоокислительной стабильности смазок, а также установление происходящих в процессе их окисления изменений эксплуатационных свойств приобретают немаловажное значение.

Объектами исследований являлись разработанные Институтом природопользования и выпускаемые ОАО «Завод горного воска» канатные углеводородные смазки серии КС-У, а также входящие в их состав компоненты.

Выбранные для исследования объекты окисляли воздухом при двух режимах:

при 100 °C в течение 25 циклов (1 цикл – 8 ч окисления и 16 ч охлаждения при комнатной температуре);

при 275 °C в течение 2 суток по 6 ч ежедневно с периодическим отбором проб.

О термоокислительной стабильности объектов исследования судили по изменению их кислотного числа и наличию осадка, определяемого по изменению качества пленки.

Оценку физико-химических свойств данных продуктов проводили стандартными методами испытания нефтепродуктов: температуру каплепадения по ГОСТ 6793-74, температуру сползания – по ГОСТ 6037-75, кислотное число – по ГОСТ 5985-89.

Защитную эффективность смазок по отношению к стали 10 определяли по ГОСТ 9.054-75 в среде сернистого ангидрида при повышенных значениях температуры и влажности. Испытания проводили циклами, состоявшими из двух частей: в первой части образцы подвергали воздействию сернистого ангидрида в концентрации 0,015 % объемных при температуре 40±2 °C и относительной влажности воздуха 95–100 % в течение 7 ч; во второй – создавали условия для конденсации влаги на образцах их охлаждением путем выключения нагрева камеры. Продолжительность второй части цикла составляла 17 ч. Критерием защитной эффективности служила потеря массы стали после удаления продуктов коррозии.

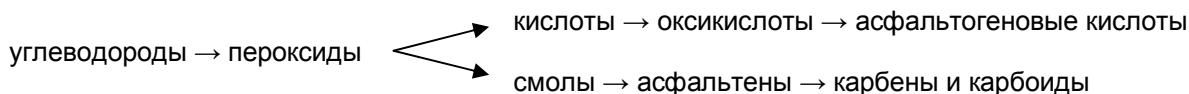
Для изучения механизма и кинетики окисления смазок использовали методы электронного парамагнитного резонанса (ЭПР-спектроскопии) и ИК-спектроскопии. Регистрацию спектров ЭПР осуществляли на серийном радиоспектрометре РЭ-1301, снабженном источником повышенной СВЧ-мощности (50 мВт). Чтобы избежать насыщения сигнала ЭПР СВЧ-мощностью, его

интенсивность (концентрация ПМЦ) и параметры (ширина ΔH и положение по полю – g -фактор) определяли при низком уровне СВЧ-мощности (0,1 мВт). Для углубления структурной информации [3, 2] проводилась также регистрация спектров ЭПР при высоких уровнях СВЧ-мощности (50 мВт). Исследование молекулярных спектров объектов исследования проводилось с использованием спектрофотометрического комплекса на основе спектрофотометра «Specord M-80» и ПЭВМ IBM. Программное обеспечение позволяло собрать данные, провести первичную обработку, архивацию.

Канатные консервационные смазки КС-У и КС-Ум представляют собой структурированные дисперсии углеводородных загустителей в маслах, содержащих значительное количество есте-

ственных ПАВ. Данные смазки существенно различаются по групповому составу: смазка КС-У содержит около 57 % парафиновых, 11 % наftenовых, 27 % ароматических углеводородов, а также до 2 % смолисто-асфальтовых веществ, а смазка КС-Ум – около 31 % парафиновых, 15 % наftenовых, 43 % ароматических углеводородов и до 6 % смолисто-асфальтовых веществ. Кроме того, в состав смазок серии КС-У входят ингибиторы коррозии на основе продуктов масложировых производств.

Работами К. И. Иванова, Н. И. Черножукова, С. Э. Крейна, приведенными в [1], было установлено, что окисление углеводородов масел во многих случаях проходит стадию образования пероксидов и далее идет в двух основных направлениях:



Реакция окисления носит цепной характер. В результате последующих превращений пероксидов образуются кислые вещества или нейтральные смолы, асфальтены, карбены и карбоиды. Наряду с перечисленными продуктами при окислении масел образуются также нейтральные продукты фенольного типа, спирты, альдегиды и кетоны, а также сложные эфиры.

Углеводороды минеральных масел и смазок существенно отличаются по термоокислительной стабильности. Известно, что парафиновые углеводороды являются довольно стойкими к воздействию кислорода при умеренных температурах. При высоких температурах парафиновые углеводороды малостойки и легко окисляются кислородом воздуха. Продуктами окисления парафиновых углеводородов являются карбоновые кислоты, спирты, альдегиды, кетоны и эфиры.

Ароматические углеводороды являются весьма стойкими против окисления кислородом воздуха. При отсутствии боковых алкильных цепей в результате окисления ароматических углеводородов образуются продукты уплотнения и фенолы. Если ароматические углеводороды имеют алкильные цепи, стойкость их к окислению падает с ростом количества и длины этих цепей. Ароматические углеводороды с короткими боковыми цепями (до C_5), окисляясь, дают в основном продукты уплотнения и фенолы, с длинными – наряду с этими продуктами окисления образуют кислоты, содержание которых тем больше, чем больше цепей и чем они длиннее.

Нафтеновые углеводороды окисляются значительно легче ароматических. Так же, как и у ароматических углеводородов, склонность к окислению у нафтеновых увеличивается по мере роста длины и количества алкильных цепей. Окисление нафтеновых углеводородов происхо-

дит с разрывом кольца, и продуктами окисления являются в основном кислоты и оксикислоты и лишь в незначительных количествах имеются продукты уплотнения как результат конденсации первичных продуктов окисления (альдегидов, кетонов и т. п.).

Нафено-ароматические углеводороды малостойки по отношению к кислороду. Поскольку их ядра состоят из нафтеновой и ароматической части, то при окислении образуются как кислые продукты, так и продукты уплотнения.

Таким образом, наиболее стойкими к окислению являются ароматические углеводороды. Как правило, стойкость углеводородов всех классов против окисления уменьшается с усложнением структуры их молекул.

Изучение термоокислительной стабильности смазок и входящих в их состав компонентов при температуре 100 °C, характеризующей технологические режимы нанесения смазок, позволило установить, что гач, петролатум и остаток крекинга практически не окисляются при данной температуре, на что указывают их кислотные числа и качество пленки (табл. 1). Вакуумный дистиллят и экстракт нефтяной, содержащие до 20 % нафтеновых углеводородов, значительно менее стабильны при этой температуре: их кислотные числа после окисления возрастают в 2 раза по сравнению с исходными, а наличие мелких включений в пленке свидетельствует о накоплении продуктов окисления. Результаты исследования показали, что продукты, подвергнутые фенольной очистке и не содержащие гетероарганических соединений, а также остаток крекинга обладают более высокой термоокислительной стабильностью, а увеличение кислотных чисел смазок свидетельствует, что при температуре

100 °C их окисление происходит по первой схеме, т. е. через образование кислот, оксикислот и т. д.

Образующиеся при окислении смазок кислоты в зависимости от их молекулярной массы и количества могут оказывать различное действие на эксплуатационные свойства смазок. Так, появление высокомолекулярных жирных кислот, являющихся маслорасторимыми поверхностно-активными веществами (ПАВ), будет способствовать повышению способности смазки защищать металл от коррозии, в то время как оксикарбоновые и низкомолекулярные жирные кисло-

ты обладают заметной агрессивностью по отношению к стали.

Для установления влияния образующихся при окислении продуктов на эксплуатационные характеристики смазок проведена оценка их температур каплепадения, сползания и защитных свойств до и после окисления, в результате которой установлено, что окисление смазок при температурах их нанесения приводит к некоторому повышению температур каплепадения и защитной эффективности смазок (табл. 2).

Таблица 1. Термоокислительная стабильность объектов исследования

Наименование	Кислотное число, мг КОН/г			Качество пленки
	Без окисления	15 циклов окисления	25 циклов окисления	
Гач нефтяной	0,11	0,12	0,12	Однородная без включений
Петролатум	0,11	0,11	0,11	“
Вакуумный дистиллят	0,12	0,20	0,25	Однородная с мелкими включениями
Остаток крекинга	0,14	0,16	0,18	Однородная без включений
Экстракт нефтяной	0,17	0,25	0,31	“
Смазка КС-У	1,29	1,41	2,19	“
Смазка КС-Ум	1,89	2,13	2,35	“

Таблица 2. Влияние окисления смазок при 100 °C на их эксплуатационные свойства

Наименование	КС-У		КС-Ум	
	до окисления	после окисления	до окисления	после окисления
Температура каплепадения, °C	73	74	79	80
Температура сползания, °C	46	46	40	40
Потеря массы стали 10 при воздействии сернистого ангидрида за 3 цикла, г/м ²	2,9	2,5	1,7	1,4

Таким образом, выполненными исследованиями установлено, что окисление углеводородных смазок серии КС-У при температуре 100 °C, обусловленной технологией их нанесения, происходит с образованием органических кислот и не оказывает негативного влияния на свойства данных смазок.

Для установления влияния происходящих при 275 °C процессов окисления на эксплуатационные свойства углеводородных смазок была проведена оценка их температур каплепадения и сползания, характеризующих загущающую способность смазок, и защитных свойств в сернистом ангидриде. Кроме того, для выяснения способности смазок восстанавливать свои функциональные свойства после высокотемпературного воздействия оценка их свойств проводилась через одни и семь суток. Характер изменения эксплуатационных характеристик смазок под влиянием окисления при высоких температурах представлен на рис. 1–4.

Определение кислотных чисел отобранных проб смазок позволило установить, что они заметно уменьшаются уже после 3 ч окисления (рис. 1), что свидетельствует о протекании процессов окисления при температуре 275 °C по второй схеме, т.е. с накоплением смол и асфальтенов.

Установлено, что в зависимости от состава смазки после 6–9 ч окисления происходит снижение температур каплепадения исследуемых смазок и в то же время повышение температур их сползания. Известно, что при окислении протекают два противоположных процесса – деструкции и конденсации [1, 8]. С одной стороны, имеет место термическое разрушение углеводородного каркаса, связанное с термической деструкцией, что снижает температуру каплепадения смазок, с другой – в результате этого же процесса образуются соединения, обладающие более высокой адгезией к металлу (смолы, карбены, карбоиды), что вызывает повышение температуры сползания смазок.

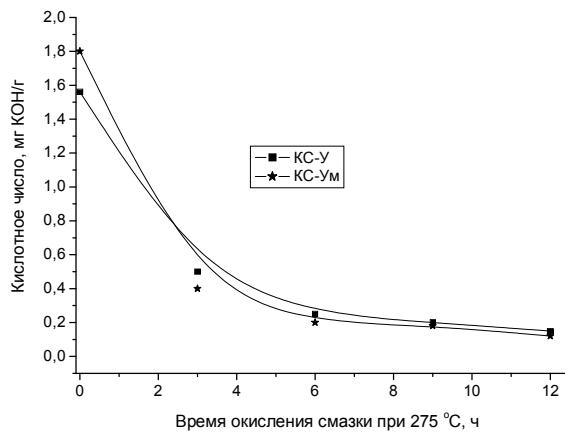


Рис. 1. Влияние окисления на кислотные числа смазок

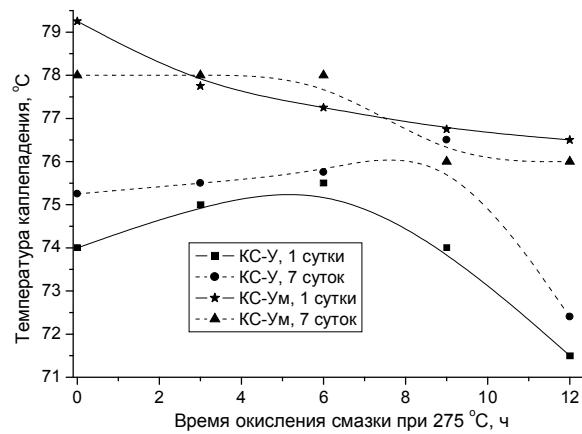


Рис. 2. Влияние окисления на температуру каплепадения смазок

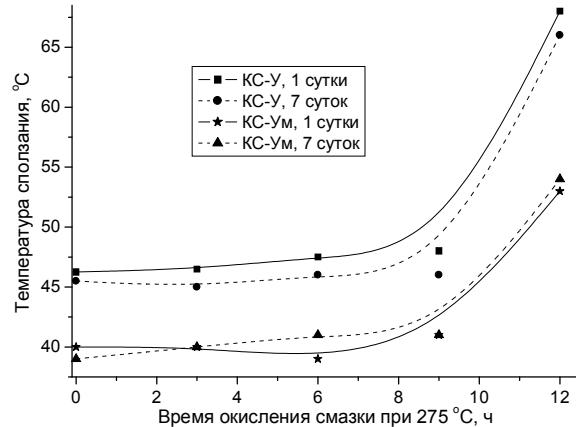


Рис. 3. Влияние окисления на температуру сползания смазок

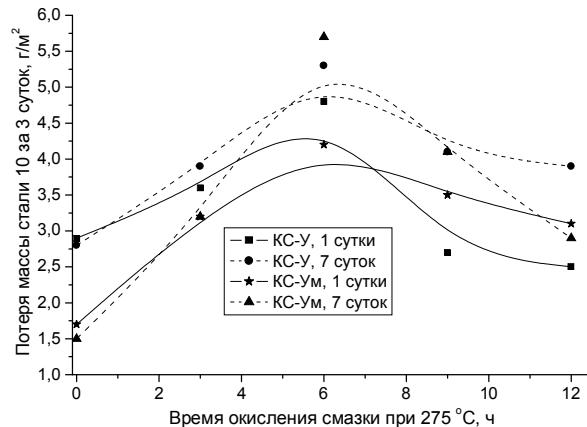


Рис. 4. Влияние окисления на защитные свойства смазок в условиях воздействия сернистого ангидрида

Изучение влияния окисления на защитные свойства углеводородных смазок показало (рис. 4), что имеет место заметное снижение их эффективности, которое носит экстремальный характер. Максимум снижения защитных свойств наблюдается через 6 ч окисления смазок. Кроме того, анализ полученных данных показал, что защитная эффективность исходных образцов смазок в процессе их так называемого дозревания снижается с увеличением времени отстоя, что связано, по-видимому, с продолжающейся трансформацией коллоидных структур смазок и дальнейшим ужесточением систем полисопряжения.

Для более детального изучения процессов, протекающих при окислении смазок при высоких температурах, было проведено исследование отобранных проб методами ИК- и ЭПР-спектроскопии.

По данным ЭПР-спектроскопии исходный образец углеводородной смазки КС-У характеризуется слабой интенсивностью сигнала ЭПР (табл. 3), что свидетельствует о незначительном содержании ароматических фрагментов. Низкое значение *g*-фактора обусловлено практическим отсутствием кислорода в системах полисопряжения [6]. Слабое насыщение сигнала СВЧ-мощностью (высокое значение параметра A/A_0) вполне логично объясняется недостаточной молекуллярной жесткостью вследствие слабой развитости систем полисопряжения [4].

Окисление при температуре 275 °C приводит к непрерывному возрастанию концентрации ПМЦ (табл. 3), что согласуется с литературными данными об образовании асфальтенов, карбенов и карбоидов [1]. Усиление насыщения сигнала СВЧ-мощностью (снижение параметра A/A_0)

также свидетельствует о повышении молекулярной жесткости [4].

С другой стороны, сохранение ширины и *g*-фактора свидетельствует о практическом отсутствии кислородсодержащих функциональных групп в образовавшихся системах ароматического полисопряжения [6], хотя термоокисление проводилось в атмосфере воздуха. Наибольшая концентрация ПМЦ в остатке свидетельствует о высокой молекулярной жесткости его вещества [4]. В то же время совпадение параметров сигнала с остальными окисленными образцами (табл. 3) свидетельствует о практически одинаковом строении их систем ароматического полисопряжения.

Значительно большая интенсивность спектра ЭПР в смазке КС-Ум (табл. 4) по сравнению со смазкой КС-У свидетельствует о высоком содержании ароматических систем полисопряжения. Последнее обстоятельство обуславливает и молекулярную жесткость смазки КС-Ум, что

вытекает из большого насыщения сигнала СВЧ-мощностью (меньшее значение A/A_0 КС-Ум по сравнению с аналогичным параметром смазки КС-У). И в этом случае значение *g*-фактора свидетельствует о сугубо углеводородном характере систем ароматического полисопряжения. В образцах разрабатываемой смазки помимо синглетного сигнала органических ПМЦ регистрируется также слабо насыщающийся СВЧ-мощностью (высокое значение параметра A/A_0) 8-компонентный спектр ионов ванадила (VO^{2+}), обусловленный сверхтонким взаимодействием неспаренного электрона с магнитным моментом ядра V^{51} . Аномально высокая интенсивность компоненты сверхтонкой структуры $m = 1/2$, расположенной в меньших полях по сравнению с сигналом органических ПМЦ (именно по данной компоненте определялась интенсивность спектра ионов VO^{2+}), свидетельствует, что он обусловлен ванадилпорфириновыми соединениями, характерными для тяжелых нефлей [5].

Таблица 3. Влияние времени окисления на спектры ЭПР смазки КС-У

Время окисления, ч	$\Delta H_{0,1 \text{ мВт}}, \text{Гc}$	$\Delta H_{50 \text{ мВт}}, \text{Гc}$	<i>g</i> -фактор $_{0,1 \text{ мВт}}$	<i>g</i> -фактор $_{50 \text{ мВт}}$	A / A_0^*	$N, 10^{17} \text{ сп/г}$
0	6,3	10,8	2,0029	2,0031	10,0	0,4
3	5,2	5,6	2,0027	2,0037	6,0	0,3
6	5,7	5,8	2,0026	2,0032	7,5	2,2
9	5,3	5,0	2,0029	2,0030	6,0	4,8
12	5,0	5,2	2,0030	2,0026	5,1	10,8
Остаток	5,6	4,7	2,0028	2,0027	7,7	31,6

* A/A_0 – отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт.

Таблица 4. Влияние времени окисления на спектры ЭПР смазки КС-Ум

Время окисления, ч	Органические ПМЦ						VO^{2+}			
	$\Delta H_{0,1 \text{ мВт}}, \text{Гc}$	$\Delta H_{50 \text{ мВт}}, \text{Гc}$	<i>g</i> -фактор $_{0,1 \text{ мВт}}$	<i>g</i> -фактор $_{50 \text{ мВт}}$	A / A_0	$N, 10^{17} \text{ сп/г}$	$\Delta H_{0,1 \text{ мВт}}, \text{Гc}$	$\Delta H_{50 \text{ мВт}}, \text{Гc}$	A / A_0	$N, 10^{17} \text{ сп/г}$
0	5,5	6,4	2,0025	2,0028	5,21	4,7	10,9	9,8	7,0	1,1
0,5	5,9	5,8	2,0027	2,0031	5,26	9,5	10,7	10,7	8,9	1,9
1	5,9	5,8	2,0028	2,0029	6,75	8,6	11,7	9,6	6,7	1,9
3	5,1	5,3	2,0029	2,0028	4,59	5,0	7,6	12,1	9,6	0,7
6	4,8	5,5	2,0029	2,0028	4,50	8,9	8,6	10,1	11,1	0,7
9	4,3	5,1	2,0028	2,0031	3,69	9,4	10,7	10,6	12,5	0,8
12	4,6	4,5	2,0029	2,0027	4,00	16,4	9,6	8,9	10,7	0,5

При термоокислении смазки КС-Ум не наблюдается столь четкой закономерности повышения концентрации органических ПМЦ, как в случае со смазкой КС-У (см. табл. 3 и 4), что согласуется с высокой стойкостью ароматических углеводородов

к окислению кислородом воздуха [1]. Отсутствие уширения и возрастания *g*-фактора также свидетельствует против обогащения ароматических систем полисопряжения в разрабатываемой смазке кислородсодержащими функциональны-

ми группами [6]. Разброс в значениях интенсивности сигнала органических ПМЦ объясняется конкуренцией процессов конденсации и деструкции. Экстремально минимальное значение после 3 ч термоокисления может быть объяснено эффективностью деструкции, что подтверждается существенным падением спектра ионов VO^{2+} , свидетельствующем о разрушении ванадилпорфириновых соединений. Последнее объясняет заметное сужение сигнала органических ПМЦ и усиления насыщения его СВЧ-мощностью (уменьшение параметра A/A_0) после 3 ч окисления (табл. 4), что обусловлено особенностями магнитного диполь-дипольного взаимодействия ионов VO^{2+} с органическим ПМЦ как центров с различными временами релаксации [7].

Проанализировав полученные экспериментальные данные, можно констатировать, что для исследованных смазок окисление при температуре 275 °C не приводит к обогащению их ароматических систем полисопряжения кислородсодержащими функциональными группами. Установленные отличия обусловлены различной стойкостью насыщенных и ароматических углеводородов к окислению.

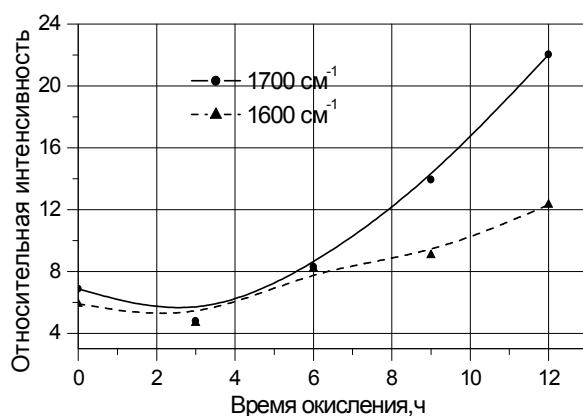


Рис. 5. Относительная интенсивность полос исходного и окисленных образцов смазки КС-У

Аналогичная картина наблюдается и при окислении смазки КС-У, при этом максимум полосы на 1720 см^{-1} смещается к 1700 см^{-1} , что может свидетельствовать о появлении карбонильных групп при ароматических соединениях. С этого же момента начинает увеличиваться интегральная интенсивность полосы на 1600 см^{-1} , свидетельствующая о начале протекания процессов поликонденсации.

Установленное экстремальное снижение защитной эффективности смазок с максимумом при 6 ч окисления хорошо согласуется с полученными данными спектральных методов анализа. По данным ИК-спектроскопии именно в интервале 3–6 ч окисления происходит уменьшение содержания кислородсодержащих карбо-

нилльных групп, которые являются маслорастворимыми ПАВ, и это, по-видимому, приводит к падению защитной эффективности смазок. Увеличение числа этих групп после 6 ч окисления приводит к некоторому росту уровня защитных свойств исследованных смазок.

С целью анализа изменений интенсивности этих полос было выполнено разложение области $1850\text{--}1550 \text{ см}^{-1}$ на две составляющие (1710 и 1600 см^{-1}) и рассчитана их относительная интенсивность. На рис. 5 и 6 приведены полученные результаты.

Как следует из полученных данных, в первые часы окисления смазки КС-У наблюдается некоторое уменьшение кислородсодержащих карбонильных групп, а после 5–6 ч окисления – их рост (после 12 ч окисления интенсивность этой полосы выросла в 3 раза). С этого же времени начинает увеличиваться интегральная интенсивность полосы на 1600 см^{-1} (в 2 раза), свидетельствующая о начале протекания процессов поликонденсации.

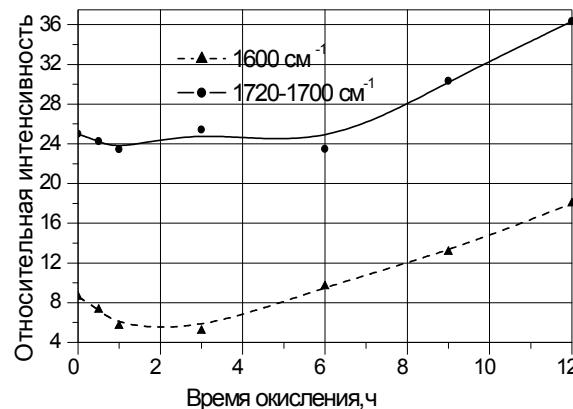


Рис. 6. Относительная интенсивность полос исходного и окисленных образцов смазки КС-Ум

нильных групп, которые являются маслорастворимыми ПАВ, и это, по-видимому, приводит к падению защитной эффективности смазок. Увеличение числа этих групп после 6 ч окисления приводит к некоторому росту уровня защитных свойств исследованных смазок.

Таким образом, выполненными исследованиями установлено, что при температуре 100 °C, соответствующей условиям использования смазок, происходит их окисление с образованием органических кислот. При более высоких температурах, возникающих при разогреве смазок в битумовозах, окисление смазок сопровождается образованием смол, карбенов и карбоидов и приводит к снижению уровня их функциональных свойств.

Литература

1. **Андреев, Д. Я.** Основы производства и применения топлив и масел / Д. Я. Андреев, Н. Н. Бобров, Е. И. Гулин // Применение топлив и масел. Калинин, 1956. Ч. II.
2. **Лиштван, И. И.** Физико-химические основы синергизма защитных свойств композиций маслорастворимых поверхностно-активных веществ / И. И. Лиштван [и др.] // Докл. Акад. наук Беларуси. 2008. Т. 52, № 6. С. 59–62.
3. **Лиштван, И. И.** О взаимосвязи между физико-химическими параметрами и эффективностью маслорасторимых ингибиторов коррозии / И. И. Лиштван, Т. Я. Царюк, Л. П. Майко // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. 2000. № 1. С. 30–37.
4. **Любченко, Л. С.** Исследование свойств полимеров дифенилзамещенных ацетиленов методом электронного парамагнитного резонанса. III. Механизм возникновения парамагнитных центров в полисопряженных системах / Л. С. Любченко [и др.] // Журн. физической химии. 1985. Т. 59, № 12. С. 3085–3092.
5. **Алексеев, Б. Ф.** Магнитный резонанс при изучении природных образований / Б. Ф. Алексеев [и др.]. Л., 1987.
6. **Прохоров, С. Г.** Научные и прикладные аспекты ЭПР-спектроскопии битумов : дис.... канд. техн. наук / С. Г. Прохоров. Минск, 1997.
7. **Стригуцкий, Л. В.** Влияние магнитных центров с короткими временами релаксации на спектры ЭПР углеродных материалов : дис. ... канд. техн. наук / Л. В. Стригуцкий. Минск, 1999.
8. **Чертков, Я. Б.** Неуглеводородные соединения в нефтепродуктах / Я. Б. Чертков. М., 1964.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 30.03.2012

**Т. Я. Царюк, В. П. Стригуцкий, Л. Д. Шапорева,
Ю. Ю. Навоша, И. П. Фалюшина, И. В. Дребенкова**

ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ УГЛЕВОДОРОДНЫХ КАНАТНЫХ СМАЗОК

Изучены термоокислительная стабильность исходных компонентов и кинетика карбонизации углеводородных смазок серии КС-У. Установлено, что при температуре 100 °C, характеризующей процессы, протекающие в смазке в условиях ее применения при производстве канатов, окисление смазок происходит с образованием органических кислот и не оказывает негативного влияния на их эксплуатационные свойства. Показано, что наибольшей стойкостью к окислению при данной температуре обладают продукты переработки масляных фракций, не содержащие гетероорганических соединений. При температуре 275 °C окисление смазок сопровождается образованием смол, карбенов и карбоидов и приводит к снижению уровня их функциональных свойств. Методами ЭПР и ИК-спектроскопии установлено, что окисление в данных условиях приводит к формированию систем полисопряжения, практически не содержащих кислород.

**T. Ya. Tsaruk, V. P. Strigutsky, L. D. Shaporeva,
Y. Y. Navosha, I. P. Falushina, A. V. Drebenkova**

THERMAL-OXIDIZING STABILITY OF HYDROCARBON ROPE LUBRICANT

Thermal-oxidizing stability of initial components and kinetics of hydrocarbon lubricants carbonization of a series KS-U were studied. It has been found that at the temperature of 100 °C, characterizing the processes, running in the lubricant in the conditions of its application at ropes manufacture, the lubricants oxidation with the formation of organic acids occurs and does not render negative influence on their operational properties. It has been shown that the greatest resistance to oxidation at the given temperature have products of oil fractions processing without hetero-organic compounds. At the temperature of 275 °C the oxidation of lubricants is accompanied by the formation of resin, carbenes and carboids and results in the decrease of the level of their functional properties. By EPR and IR-spectroscopy methods it has been found that oxidation in the given conditions results in the formation of poly-conjugation systems, which practically do not contain oxygen.

А. А. Хомичу – 80 лет

12 ноября 2011 г. исполнилось 80 лет со дня рождения Александра Александровича Хомича, нашего учителя, географа по призванию, человека, который всегда щедро делился с нами своими идеями и энциклопедическими знаниями настоящего естествоиспытателя.

В 1971 г. он возглавил лабораторию геохимии ландшафтов в Институте геохимии и геофизики НАН Беларуси, организованную для развития географических исследований в недрах академии наук. Руководимая Александром Александровичем на протяжение более чем двадцатилетнего периода научное подразделение в силу определенных обстоятельств меняло свое название и прописку (лаборатория рационального природопользования – 1978–1990 гг., лаборатория оптимизации геосистем и организации территории – 1990–1994 гг., лаборатория оптимизации геосистем – с 1994 г.). Изменялось название лаборатории, но не менялись ее основные принципы – преданность делу, которому служишь, доскональное знание предмета исследования, самоотдача и самодисциплина, дружба и взаимопомощь в различных профессиональных и жизненных ситуациях.

Александру Александровичу как неординарному организатору удалось сплотить вокруг себя коллектив единомышленников, способных искренне радоваться научным достижениям друг друга. Под его руководством в недрах Института геохимии и геофизики АН БССР получили развитие



пионерные для 1970–1980-х годов научные и научно-прикладные исследования, касающиеся различных аспектов воздействия человека на природные комплексы Беларуси.

Многие идеи Александра Александровича нашли отражение в научных исследованиях его учеников, докторские работы которых на соискание ученой степени кандидата географических наук были успешно защищены в Ленинграде и Минске, и в дальнейшем оказали заметное влияние на их судьбу в науке.

Большое внимание Александр Александрович уделял подготовке молодых научных кадров в ведущих научных центрах Советского Союза. Ряд сотрудников лаборатории проходили стажировку и учились в целевой аспирантуре при Институте географии АН СССР и Московском государственном университете им. Ломоносова (Москва), Институте географии Сибирского отделения АН СССР (Иркутск). В настоящее время они стали костяком географических исследований в Институте природопользования НАН Беларуси.

Сегодня лаборатория оптимизации геосистем успешно работает под руководством доктора географических наук Валерия Степановича Хомича, который бережно хранит в коллективе традиции и принципы своего учителя – Александра Александровича Хомича.

Мы благодарны судьбе за встречу с Александром Александровичем, которая стала для нас началом пути в науку.

Ученики и коллеги.

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 21

Редактор *Т. А. Горбачевская*
Компьютерная верстка *Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская*
Переводчик Г. А. Зайчиков

Подписано в печать 11.06.2012. Формат 60x90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,2. Уч.-изд. л. 27,56.
Тираж 150 экз. Заказ № 1525.

Издатель и полиграфическое исполнение РУП «Минсктиппроект».
ЛИ № 02330/0549410 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0494102 от 11.03.2009.
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.